

Wissenschaftliche Arbeit zu Erlangung des Akademischen Grades  
Bachelor of Science

Diagnostik von Binokularstörungen  
- aktuelle Möglichkeiten PC-gestützter Diagnostik am Beispiel des Hess-Schirms -

## **Bachelorarbeit**

Im Fachbereich Augenoptik  
Im Studiengang Augenoptik/ Augenoptik & Hörakustik  
der Hochschule Aalen für Technik und Wirtschaft

Autor:	Mercedes Faber Fliederweg 5 89129 Langenau
Matrikelnr.:	29058
Telefonr.:	07345/7298
Erstbetreuer:	Prof. Dr. Thomas Kirschkamp
Zweitkorrektor:	Dr. Carsten Jäger
Ort:	Aalen
Abgabetermin:	07.06.2013

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich an Eides statt und durch meine Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig, ohne fremde Hilfe angefertigt worden ist. Inhalte und Passagen, die aus fremden Quellen stammen und direkt oder indirekt übernommen worden sind, wurden als solche kenntlich gemacht. Ferner versichere ich, dass ich keine andere, außer der im Literaturverzeichnis angegebenen Literatur verwendet habe. Diese Versicherung bezieht sich sowohl auf Textinhalte sowie alle enthaltenden Abbildungen, Skizzen und Tabellen. Die Arbeit wurde bisher keiner Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

*Langenau, 29.05.2013*

A handwritten signature in blue ink that reads "M. Faber". The signature is written in a cursive style with a capital 'M' and a period after the first name.

## ***Danksagung***

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken die mich bei der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Zu allererst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Kirschkamp bedanken, der meine Arbeit und somit auch mich betreut hat. Dank seiner herausragenden Expertise konnte er mich immer wieder in meiner Recherche und bei meinen Fragen unterstützen.

Ein besonderer Dank gilt der Visus GmbH, die mir alle nötigen Geräte und Materialien zur Verfügung stellten.

Herrn Jäger möchte ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung danken.

Ich möchte mich auch ganz herzlich bei Reinhard Liebhäußer für die tatkräftige Hilfe beim Messaufbau bedanken, sowie bei Ralf Michels, der mir die Kontaktlinsen für meine Probanden besorgte und immer ein offenes Ohr für alle meine Fragen hatte.

Natürlich möchte ich auch allen danken, die sich die Zeit genommen haben mir als Probanden zur Verfügung zu stehen.

Zu letzt bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die Unterstützung während meiner Bachelorarbeit und meines gesamten Studiums, sowie für die Zeit, die sie in die Korrektur meiner Thesis investierten.

## ***Abstract***

In der vorliegenden Thesis wird der konventionelle Hess-Schirm mit der computerbasierten Version verglichen, dem sogenannten „PC Hess Screen“. Die Thesis gibt auch einen Überblick über einige andere Verfahren, die zur Diagnostik von Binokularstörungen angewandt werden. Der Hess-Schirm wird vor allem für die Diagnostik von Lähmungsschielen benutzt. Er bietet im Vergleich zur Harmswand eine schnellere Messung und ein leichter zu interpretierendes graphisches Messergebnis. Das Programm PC Hess Screen, entwickelt von W. David Thomson, soll die Messung nach dem Prinzip des Hess-Schirms und die Dokumentation der Ergebnisse noch schneller und komfortabler machen. Um die Vergleichbarkeit der konventionellen und der computerbasierten Methode zu überprüfen, werden in dieser Arbeit 40 Probanden jeweils am Hess-Schirm und am PC Hess Screen vermessen. Die Messungen am Hess-Schirm finden standartgemäß in einer Prüferentfernung von 50 cm statt. Für die Messung mit dem PC Hess Screen wird ein 37 Zoll Monitor in einer Prüferentfernung von 30 cm verwendet. Die Bildtrennung wird am Hess-Schirm mit einer Rot/Grün-Brille und am PC Hess Screen mit einer Rot/Blau-Brille gewährleistet. Die Messergebnisse beider Methoden weisen bei Messung der horizontalen Schielwinkel hochsignifikante ( $p < 0,001$ ) Unterschiede auf. Die gemessenen horizontalen Schielwinkel am PC Hess Screen sind wegen des geringeren Prüfabstands divergenter. Zusätzlich wird eine zweite Messung am PC Hess Screen durchgeführt, um den Einfluss einer mangelhaften Bildtrennung auf die Messergebnisse zu überprüfen. Bei dieser zweiten Messung werden von den Probanden häufig „Geisterbilder“ wahrgenommen und die Messwerte zeigten geringere Schielwinkel. Die Ergebnisse der ersten Messung am PC Hess Screen, bei der eine gute Auslöschung der Sehobjekte durch das jeweils komplementäre Glas gegeben ist und die der zweiten Messung mit mangelhafter Auslöschung unterscheiden sich in der horizontalen Richtung hochsignifikant ( $p < 0,001$ ).

## Inhaltsverzeichnis:

<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
2.1	<i>Physiologie der Augenbewegungen.....</i>	<i>2</i>
2.1.1	Exkursionsfähigkeit des Auges .....	4
2.2	<i>Heterophorie und Heterotropie .....</i>	<i>5</i>
2.2.1	Heterophorie.....	5
2.2.2	Physiologische Nahexophorie:.....	5
2.2.3	Heterotropie.....	6
2.2.4	Lähmungsschielen .....	7
2.3	<i>Korrespondenz und Richtungswerte .....</i>	<i>8</i>
2.4	<i>Trennverfahren .....</i>	<i>9</i>
2.4.1	Polarisationsverfahren .....	9
2.4.2	Anaglyphenverfahren .....	11
2.5	<i>Der Hess-Schirm und verwandte Verfahren zur Messung der Motilität .....</i>	<i>12</i>
2.5.1	Prinzip der Schielwinkelbestimmung an der Tangententafel .....	12
2.5.2	Koordinatensysteme.....	14
2.5.3	Tangententafel nach Harms (Harmswand) .....	16
2.5.4	Hess-Schirm (Koordimetrie nach Hess).....	18
2.5.5	Lee Screen .....	21
2.6	<i>Ältere Studien.....</i>	<i>22</i>
2.6.1	Vergleichbarkeitsstudie Hess-Schirm/ Computerversion.....	22
2.6.2	Vergleichbarkeitsstudie Lee Screen/OMA .....	23
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>24</b>
3.1	<i>Konventioneller Hess-Schirm (HS).....</i>	<i>24</i>
3.2	<i>Hess Screen PC (PC HS).....</i>	<i>25</i>
3.3	<i>Probanden.....</i>	<i>28</i>
3.4	<i>Untersuchungsablauf .....</i>	<i>29</i>
3.5	<i>Messfehler und Einflussfaktoren.....</i>	<i>31</i>
3.5.1	Beobachtungswinkel .....	31
3.5.2	Beleuchtung .....	34
3.5.3	Kopffixierung .....	34
3.5.4	Perfekte Auslöschung .....	34
3.5.5	Handhabung der Maus am PC Hess Screen.....	34
3.5.6	Einzeichnen und Ablesen der Abweichungen am traditionellen Hess-Schirm..	35

<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>36</b>
4.1.1	Darstellung der Messungen als Hess-Chart .....	36
4.1.2	Darstellung der Messungen in Tabellenform .....	38
4.1.3	Beschreibung der Messergebnisse .....	41
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Fazit/Ausblick .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Diagrammverzeichnis .....</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>50</b>

## 1 Abkürzungsverzeichnis

PC HS	PC Hess Screen (Computerversion des Hess-Schirms)
HS	Konventioneller Hess-Schirm
AHS	Automated Hess Screen (Computerversion des Hess-Schirms)
EHS	Electronic Hess Screen
M.	Muskulus
N.	Nervus

## 2 Theoretische Grundlagen

Im Folgenden werden die für das Verständnis dieser Arbeit nötigen physikalischen und physiologischen Grundlagen, sowie der aktuelle Stand aus Forschung und Technik aufgeführt. Dazu gehört ein Einblick in die Physiologie des Auges, vor allem der Augenbewegungen. Es werden verschiedene Verfahren zur Trennung der Seheindrücke erklärt und die Funktion und Geschichte des Hess-Schirms erläutert. Darüber hinaus wird ein Überblick über andere, dem Hess-Schirm ähnliche Verfahren, zur Ursachenklärung von Doppelbildern gegeben.

### 2.1 Physiologie der Augenbewegungen

Die Beweglichkeit des menschlichen Auges wird durch sechs äußere Augenmuskeln und drei Hirnnerven ermöglicht. Der dritte Hirnnerv (Nervus oculomotorius) innerviert vier der sechs äußeren Augenmuskeln. Das sind der Muskulus rectus superior (gerader oberer Muskel), der M. rectus inferior (gerader unterer Muskel), der M. rectus medialis (gerader innerer Muskel) und der M. obliquus inferior (schäger unterer Muskel). Der vierte Hirnnerv (N. trochlearis) innerviert den M. obliquus superior (schräger oberer Muskel) und der fünfte Hirnnerv (N. abducens) den M. rectus lateralis (gerader äußerer Muskel). Die verschiedenen Augenmuskeln haben bei der Kontraktion unterschiedliche Zugrichtungen. Für die Abduktion (Auswärtsdrehen) ist der äußere gerade Muskel zuständig, für die Adduktion (Einwärtsdrehen) der innere gerade Muskel. Alle anderen Muskeln haben neben ihren Hauptzugrichtungen je nach Ausgangsposition auch Nebenzugrichtungen. Falls z.B. das Auge nasal steht, erfolgt die Blicksenkung durch den oberen schrägen Muskel.

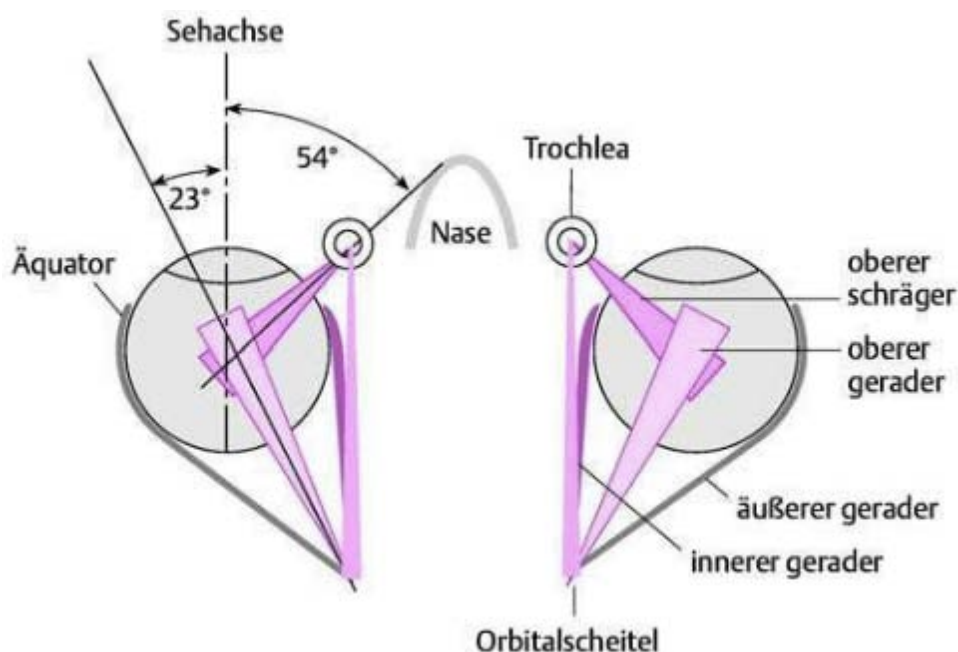


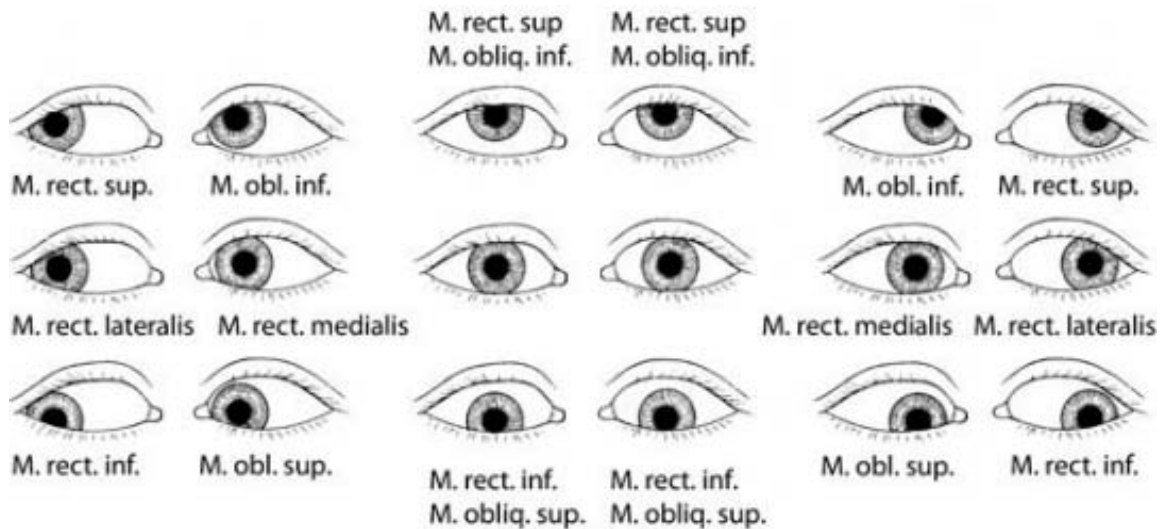
Abb. 1: Augenmuskeln bei verschiedenen Blickrichtungen. Quelle: [DIE-08]

Dies ist in der Anatomie des Auges begründet, da die Ansatzpunkte der Muskeln am Bulbus schräg sind. In Abb. 1 ist zu sehen, dass die Zugrichtung der Muskeln abhängig von der Lage der Sehachse ist. Ist die Sehachse wie in Abb. 1 eingezeichnet, um  $54^\circ$  Richtung nasal verdreht, rotiert der Augapfel bei Verkürzung des oberen schrägen Muskels nach unten. Ist die Sehachse dagegen um  $23^\circ$  nach Temporal verdreht, kommt es beim Verkürzen des oberen schrägen Muskels nur zur Verrollung des Augapfels. Jeder Augenmuskel hat einen Antagonisten (Gegenspieler). So ist zum Beispiel der obere gerade Muskel der Antagonist des unteren geraden Muskels. Die beiden Muskeln ziehen jeweils in die entgegengesetzte Richtung. Damit das Auge eine Blickhebung ausführen kann, muss der obere Muskel stärker innerviert werden. Die Innervation des unteren Muskels wird um den selben Betrag vermindert. Diese Regel ist als das Sherringtonsche Gesetz der reziproken Innervation bekannt [KAU-04]. Zudem gibt es neben den Antagonisten auch Synergisten (Helfer), sie unterstützen andere Muskeln bei bestimmten Bewegungen. Bei der Blickhebung arbeiten der untere schräge Muskel und der obere gerade Muskel zusammen. Nicht nur bei der Bewegung eines einzelnen Auges, also bei Duktionen, arbeiten Antagonisten- und Synergistenpaare zusammen, sondern auch bei den binokularen Augenbewegungen, den Versionen (gleichsinnige Augenbewegungen) und Vergenzen (gegensinnige Augenbewegungen). Das Heringsche Gesetz besagt, dass die Muskeln des rechten und linken Auges immer einen gleichstarken Nervenimpuls erhalten. So wird der M. rectus lateralis bei einer Dextroversion (Blick nach rechts) am rechten Auge gleich stark innerviert, wie der M. rectus medialis am linken Auge [DIE-08].

Die einfachste Möglichkeit die Funktionsfähigkeit und das Zusammenspiel der äußeren Augenmuskeln zu prüfen, ist nach Abweichungen während der Ausführung von neun diagnostischen Blickrichtungen zu suchen. In Abb. 2 sind diese neun Blickrichtungen zu sehen. Der Patient folgt bei dieser Untersuchung mit den Augen einem Lämpchen, das vom Untersucher in diese Richtungen geführt wird.

Dabei werden die Blickrichtungen zur Seite, sowie nach oben und unten sekundäre Blickpositionen genannt. Die vier Blickpositionen in den Ecken der Abb. 2 (schräge Blickrichtungen) werden Tertiärpositionen genannt. In der Mitte sind die Muskeln, die beim Auf- und Abblick aus der zentralen Position der Augen (Blick geradeaus) heraus innerviert werden, dargestellt. Auf der linken Seite sieht man, welche Muskeln innerviert werden müssen für den Blick nach rechts, und aus dieser Position heraus nach oben und unten. Die drei Blickpositionen auf der rechten Seite des Bildes zeigen, welche Muskeln angesprochen werden, wenn wir nach links, links oben und links unten blicken.

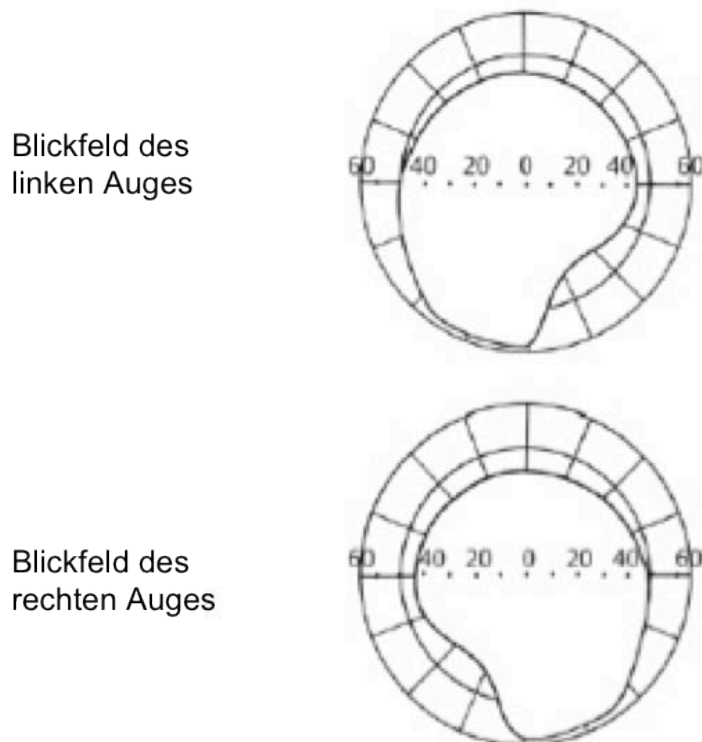




**Abb. 2: Diagnostische Blickrichtungen. Quelle: [DIE-08]**

### 2.1.1 Exkursionsfähigkeit des Auges

Wie exkursionsfähig das Auge ist, hängt von der jeweiligen Blickrichtung ab. Betrachtet man das monokulare Blickfeld, stellt man fest, dass dieses in nasaler Richtung eingeschränkt ist. Die maximale Exkursionsfähigkeit des Auges liegt bei 50° in der Abduktion und Adduktion, im Aufblick sind 60° und im Abblick 45° möglich, s. Abb. 3 [KAU-04].



**Abb. 3: Normales monokulares Blickfeld. Quelle: [KAU-04]**

Das binokulare Blickfeld ist etwas kleiner als das monokulare. Weil sich die monokularen Blickfelder des rechten und linken Auges nicht völlig decken, kommt es in den Randberei-

chen zu Doppelbildern (s. Abb. 3). Das Blickfeld, das wir für den Alltag brauchen, ist wesentlich kleiner als das maximale Blickfeld, weil bei den meisten Blickbewegungen der Kopf mitgenommen wird. Das Gebrauchsblickfeld beträgt bei Rechts- und Linksblick nur 20°, bei Blickhebung nur ungefähr 10° und bei Blicksenkung sind es ca. 40°.

Diese Werte sind zum Beispiel bei der gutachterlichen Prüfung von Fahrerlaubnissen wichtig. Fahrer der Klasse D und C dürfen im Gebrauchsblickfeld keine Doppelbilder haben [LAC-08].

## **2.2 Heterophorie und Heterotropie**

Dieses Kapitel soll einen kleinen Einblick in die Heterophorie, die physiologische Nahexophorie und die Heterotropie geben. Das Lähmungsschielen wird ebenfalls beschrieben. Zur genauen Diagnostik dieser Schielform wird der Hess-Schirm vor allem verwendet.

### *2.2.1 Heterophorie*

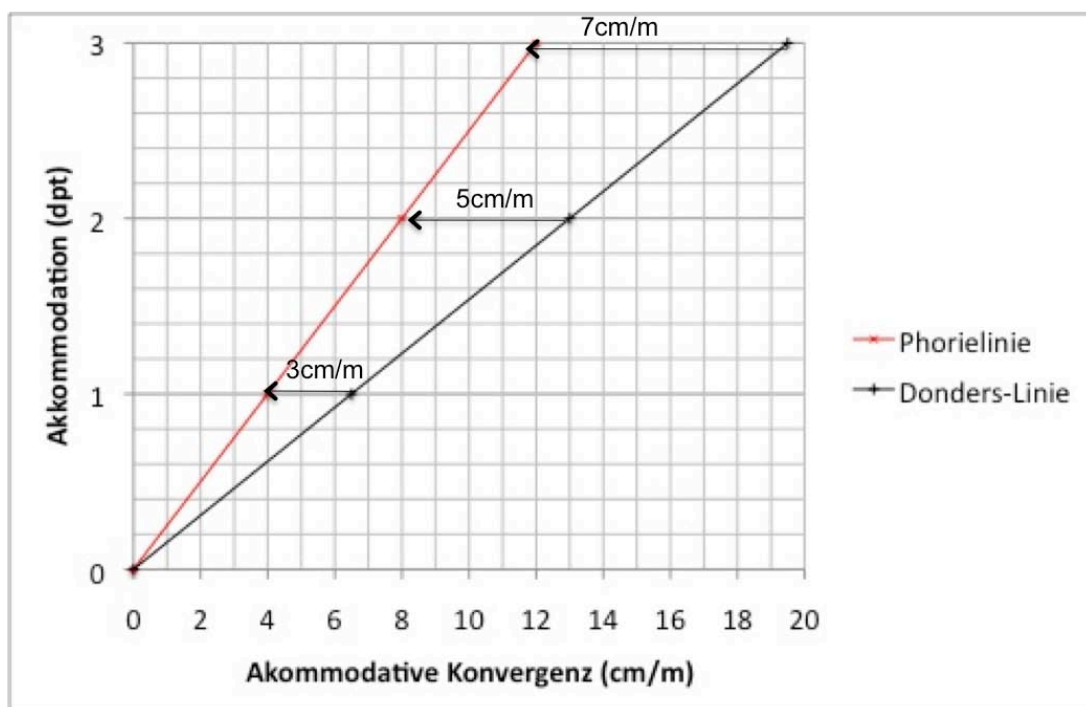
Der Bewegungsapparat des Auges ist sehr komplex und somit auch anfällig für Störungen unterschiedlichster Ursachen.

Beim normalen binokularen Sehen wird ein fixiertes Objekt in beiden Augen foveal abgebildet. Dies wird durch motorische und sensorische Fusion beider Augen erreicht und aufrecht gehalten. Wenn die Fusion durch Abdecken eines Auges unterbrochen wird (dissoziiert) und das Auge hinter der Abdeckung nicht abweicht, ist beim Aufdecktest keine Einstellbewegung zu sehen. In diesem Fall liegt Orthophorie vor, es herrscht ein Muskelgleichgewicht. Wenn das Auge hinter der Abdeckung dagegen von der Orthostellung (Ruhelage) abweicht, liegt Heterophorie (latentes Schielen) vor. Das bedeutet, die Fixierlinien beider Augen schneiden sich bei Aufhebung der Fusion nicht mehr im fixierten Objektpunkt. Die Heterophorie wird in vier Arten unterteilt: Einmal die Esophorie (Abweichung des Augenpaares nach innen), die Exophorie (Abweichung nach außen) und die Hypo-/Hyperphorie (Abweichung eines Auges nach unten oder oben). Leichte Heterophorien bis ca. 4 cm/m Prismenverordnung kommen sehr häufig vor und verursachen meistens keine Beschwerden. Eine Heterophorie ist erst behandlungsbedürftig, wenn sie Beschwerden verursacht [DIE-04].

### *2.2.2 Physiologische Nahexophorie:*

Die Akkommodation und die Konvergenz sind miteinander gekoppelt. Die motorische und die proximale (psychische) Konvergenz fallen jedoch meist zu gering aus um die Konvergenz-Sollstellung zu erreichen [DIE-04].

Diese Vergenz-Sollstellung wird durch die sogenannte Donders-Linie dargestellt sie bezieht sich auf einen Pupillenabstand von 6,5 cm. Bei der Akkommodation sollte idealerweise um 6,5 cm pro dpt konvergiert werden. Erst mit Hilfe der fusionalen Konvergenz wird die Vergenz-Sollstellung erreicht [LAC-06]. Wird die Fusion aber aufgehoben, kann dieser Mangel an Konvergenz (Konvergenzdefizit) gemessen werden. Diese Kopplung der Konvergenz pro Änderung der Objektentfernung beschreibt der AC/A-Quotient (accommodative convergence/accommodation). Der AC/A-Quotient kann z.B. zeichnerisch ermittelt werden, er entspricht dem Kehrwert der Steigung der Phorie-Linie. Der durchschnittliche AC/A-Quotient liegt zwischen 3 und 5 cm [KAU-04]. Geht man nun von einem normalen AC/A von 4 cm und Orthophorie in der Ferne aus und zeichnet diese Phorielinie und die Donders-Linie in ein Diagramm ein, erhält man Abb. 4. Es können nun die Nahexophorien in den verschiedenen Objektentfernungen abgelesen werden. Ergebnis ist eine Exophorie von ca. 5 cm/m einer Entfernung von 50 cm (2 dpt)(s. Abbildung). In 33 cm (3 dpt) Entfernung kommt man auf eine Exophorie von ca. 7 cm/m.



**Abb. 4: Darstellung der physiologischen Nahexophorie**

### 2.2.3 Heterotropie

Kann ein fixiertes Objekt bei normalen binokularen Sehen (nicht dissoziiert), nicht bifoveal abgebildet werden, liegt Heterotropie (manifestes Schielen) vor. Hier wird das fixierte Objekt im schielenden Auge auf einer exzentrischen Netzhautstelle abgebildet. Nur bei einem Auge

wird das fixierte Objekt also in der Fovea abgebildet. Der Stellungsfehler der Augen ist auch ohne Unterbrechung der Fusion vorhanden. Wie bei der Heterophorie wird auch bei der Tropie die Art des Schielens nach der Richtung der Abweichung eingeteilt. Das Präfix *exo-* steht für die Abweichung eines Auges nach außen. Das Präfix *eso-* steht für die Abweichung nach innen, *hyper-* nach oben und *hypo-* für die Abweichung nach unten [DIE-08]. Beim Begleitschielen, auch konkomitantes Schielen genannt, ist die Beweglichkeit des einzelnen Auges nicht eingeschränkt. Konkomitantes Schielen ist nicht blickrichtungsabhängig, wobei der Schielwinkel in alle Blickrichtungen gleich groß ist. Der Schielwinkel ist unabhängig davon, welches Auge fixiert. Das bedeutet, dass der primäre und sekundäre Schielwinkel gleich groß sind. Die Ursachen für Begleitschielen sind sehr vielfältig: Es kann vererbt werden, bei Frühgeborenen tritt es häufiger auf und eine unkorrigierte Hyperopie kann zu akkommodativem Innenschielen führen. Begleitschielen tritt meist in den ersten Lebensjahren auf, also in der Zeit in der sich das Sehen noch entwickelt und ist deswegen nach der Anisometropie die zweithäufigste Ursache für Amblyopie (Schwachsichtigkeit). Es ist sehr wichtig, Begleitschielen so früh wie möglich zu erkennen und zu behandeln, um eine daraus resultierende Amblyopie zu verhindern. Probleme mit Doppelbildern haben die meisten Kinder mit Begleitschielen nicht. Bei ihnen findet eine sensorische Anpassung statt, es kommt zur anomalen Korrespondenz [DIE-04]. Das bedeutet, eine bestimmte Stelle in der Fovea des rechten Auges korrespondiert nicht mit derselben Stelle im linken Auge, sondern mit einer exzentrisch gelegenen Stelle. So lange dies nur binokular der Fall ist, kann beim Covertest noch eine Einstellbewegung beobachtet werden. Wird aber auch monokular exzentrisch fixiert, findet keine Einstellbewegung mehr statt.

#### 2.2.4 Lähmungsschielen

Beim Lähmungsschielen (inkommitantes Schielen) ist im Gegensatz zum Begleitschielen die Beweglichkeit des gelähmten Auges eingeschränkt. Dies kann man gut beim Überprüfen der neun diagnostischen Blickrichtungen (siehe Abb. 2) beobachten. Lähmungsschielen wird meist traumatisch erworben und kann in jedem Alter vorkommen. Ursachen sind zum Beispiel mechanische Beeinträchtigung der äußeren Augenmuskeln oder eine Lähmung der in Kapitel 3.1 genannten Hirnnerven. Die Hirnnerven können beispielsweise durch einen Tumor beeinträchtigt werden. Bei den Betroffenen treten dann plötzlich akute Doppelbilder auf, unter Umständen auch eine Kopfwangshaltung [KAU-04]. Der Schielwinkel ist hier blickrichtungsabhängig. Blickt zum Beispiel jemand mit einer Abduzensparese (Lähmung des M.lateralis) des rechten Auges nach rechts, ist der Winkel größer als beim Blick nach links. Der Winkel ist also in Zugrichtung des gelähmten Muskels größer. Es spielt auch eine Rolle,

ob mit dem gesunden (primäre Fixation) oder dem erkrankten Auge (sekundäre Fixation) fixiert wird.

Bei primärer Fixation und Blick in Richtung des gelähmten Muskels kann das erkrankte Auge gar nicht mehr, oder nicht vollständig in diese Richtung auswandern. Fixiert jedoch das gelähmte Auge, wird es stärker innerviert um die Lähmung zu überwinden, das gesunde Auge wird aber nach dem Gesetz von Hering eben so stark innerviert und es kommt zu einer überschießenden Auswanderung des gesunden Auges. Der sekundäre Schielwinkel ist beim Lähmungsschielen größer als der primäre Schielwinkel [DIE-08]. Lähmungsschielen kann operativ korrigiert werden, dies wird aber erst nach Ablauf eines Jahres in Erwägung gezogen [REU-04].

## **2.3 Korrespondenz und Richtungswerte**

Um ein gutes hochwertiges Binokularsehen zu erreichen, sind mehrere Faktoren wichtig: Ein Faktor ist, dass ein fixierter Objektpunkt in der Mitte der Foveola abgebildet werden muss. Dort ist aufgrund der hohen Rezeptordichte das Sehen am schärfsten. Diesen Zustand nennt man zentrale Fixation. Schneiden sich die Fixierlinien beider Augen im Objektpunkt, und wird dieser in beiden Augen zentral abgebildet, spricht man von bizentraler Fixation. Das ist die wichtigste Voraussetzung, damit das Sehzentrum die beiden Einzelbilder zu einem Bild verschmelzen kann (sensorische Fusion). Die verschiedenen Netzhautstellen haben verschiedene Richtungswerte. Die Mitte der Foveola hat den Richtungswert geradeaus. Stellen oberhalb der Mitte haben den Richtungswert mehr oder weniger weiter unten, weil auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild entsteht und dieses im Gehirn wieder aufgerichtet werden muss. Netzhautstellen, die gleiche Richtungswerte besitzen, nennt man korrespondierende Netzhautstellen.

Netzhautstellen mit unterschiedlichen Richtungswerten sind disparate Netzhautstellen. Fällt ein Objektpunkt also auf korrespondierende Netzhautstellen oder innerhalb deren Panumberreich, wird dieser Punkt einfach gesehen. Ist dies nicht der Fall (wenn zum Beispiel bei einem Mensch im Erwachsenenalter plötzlich Lähmungsschielen auftritt und Objekte in disparaten Netzhautstellen abgebildet werden), nimmt der Betroffene Konfusion und Doppelbilder wahr. Dies ist der Fall, wenn eine normale Sehrichtungsgemeinschaft (normale Korrespondenz) besteht, bzw. wenn nur Objekte zu einem Gemeinschaftsbild verschmolzen werden können, die gleichen Richtungswerte besitzen. Die störenden Doppelbilder können nur durch eine Operation oder durch das Abdecken eines Auges beseitigt werden. Tritt das Schielen noch während der Entwicklung des Sehens – also im Kindesalter auf –, bildet sich oft eine anomale Korrespondenz aus. Das heißt, die zentrale Netzhautstelle im gesunden Auge kor-

respondiert mit einer peripherer gelegenen Netzhautstelle des schielenden Auges. Es kommt so nicht zur Wahrnehmung von Doppelbildern, aber das binokulare Sehen ist qualitativ stark herabgesetzt. [DIE-04]

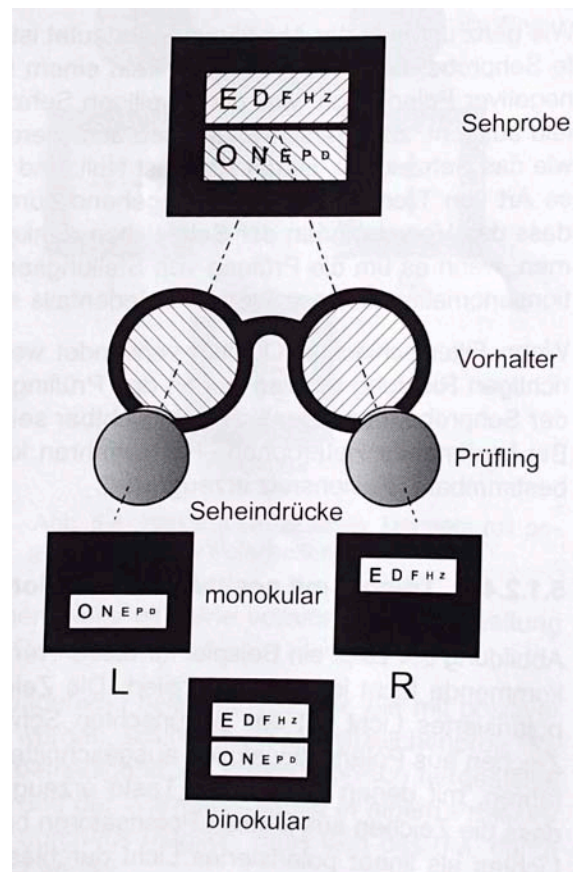
## **2.4 Trennverfahren**

Im folgenden Kapitel werden zwei Verfahren zur Trennung von Seheindrücken vorgestellt, die trotzdem noch das Sehen mit beiden Augen ermöglichen. Es wird der Unterschied zwischen dem Polarisationsverfahren und dem beim Hess-Schirm verwendeten Anaglyphenverfahren aufgezeigt.

### *2.4.1 Polarisationsverfahren*

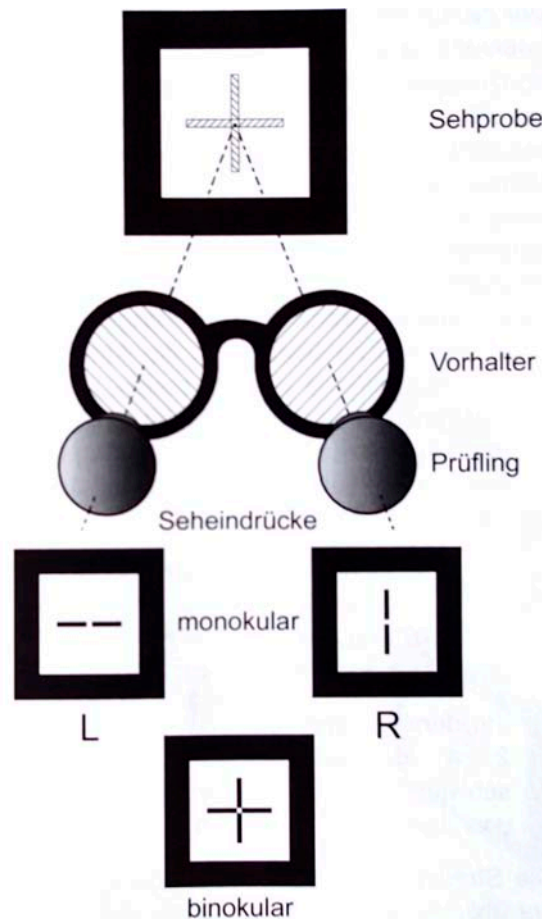
Dieses Verfahren zur Trennung der Seheindrücke arbeitet mit polarisiertem Licht. Nichtpolarisiertes Licht besteht aus einer Vielzahl von Transversalwellen mit verschiedenen Schwingungsrichtungen. Bei der Trennung durch Polarisation wird eine Sehprobe verwendet, die nur Licht einer Schwingungsrichtung durchlässt. Es entsteht linear polarisiertes Licht. Durch einen Analysator, der sich in einer Polarisationsbrille befindet, wird Licht einer bestimmten Schwingungsrichtung transmittiert. Stimmt diese mit der Schwingungsrichtung der Sehprobe überein, werden diese polarisierten Lichtwellen durchgelassen. Es wird bei diesem Verfahren zwischen der negativen und der positiven Polarisation unterschieden.

Ein Test mit negativer Polarisation besteht aus zwei übereinander liegenden Feldern. Die Polarisationsfilter beider Felder stehen senkrecht zueinander. Das Licht, das von den Feldern ausgeht, ist linear polarisiert und um  $90^\circ$  versetzt. Vom oberen Feld gehen z.B. nur Lichtwellen in Schwingungsrichtung  $45^\circ$  aus, wobei im unteren Feld die Polarisationsrichtung  $135^\circ$  beträgt. Betrachtet wird der Test mit Analysatoren, die sich in Vorhaltern befinden. Die Analysatoren sind ebenfalls Polarisationsfilter. Die Polarisationsrichtungen stehen senkrecht zueinander, wobei je ein Analysator parallel zu einer Sehprobe ausgerichtet ist. Vor dem rechten Auge befindet sich ein Analysator mit der Polarisationsrichtung  $45^\circ$ . Somit wird das Licht des oberen Feldes durchgelassen. Die Buchstabenreihe des oberen Feldes ist für das rechte Auge sichtbar. Für das linke Auge ist nur die Buchstabenreihe des unteren Feldes sichtbar, da die Lichtwellen des oberen Feldes absorbiert werden (s. Abb. 5).



**Abb. 5: Negative Polarisation. Quelle: [DIE-04]**

Bei der positiven Polarisation verhält es sich genau umgekehrt. Nur die Sehzeichen (zwei Balken) der Sehprobe enthalten einen Polarisationsfilter. Die Polarisationsrichtungen der beiden Filter für das rechte und das linke Auge stehen senkrecht zueinander. Das Licht des vertikalen Balkens wird vollständig vom rechten Analysator absorbiert, da die Polarisationsrichtungen senkrecht zueinander stehen. Daher wird auch das Licht des horizontalen Balkens vom Analysator des linken Auges vollständig absorbiert. In Abb. 6 ist der senkrechte Balken für das rechte Auge sichtbar da dieser schwarz abgebildet wird. Der waagrechte hingegen ist nicht sichtbar, weil von ihm Licht der gleichen Polarisationsrichtung ausgeht. Dieses polarisierte Licht wird vom Analysator vor dem rechten Auge durchgelassen. Das unpolarisierte Licht der Umgebung wird durch den Analysator auch polarisiert. Da das Umgebungslicht vom Analysator für das rechte Auge ebenso polarisiert wird wie das Licht vom horizontalen Balken, ist dieser nicht sichtbar (s. Abb. 6).



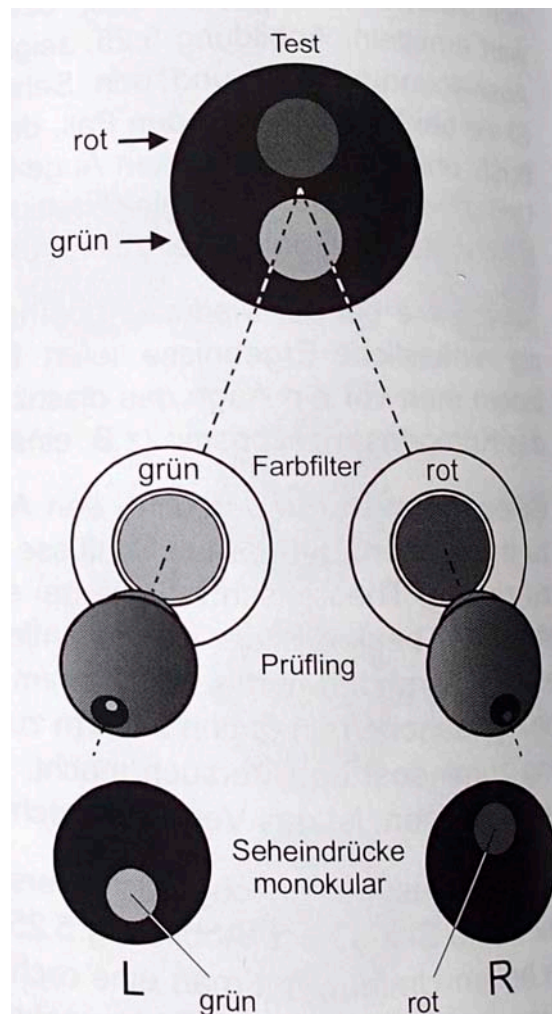
**Abb. 6: Positive Polarisation. Quelle: [DIE-04]**

Bei beiden Tests ist es wichtig, Filter guter Qualität zu verwenden und darauf zu achten, dass die Analysatoren exakt vor den Augen positioniert werden. Anderenfalls kommt es zur unvollständigen Auslöschung, die sich störend auswirken kann [DIE-04].

#### 2.4.2 Anaglyphenverfahren

Dieses Verfahren arbeitet mit dem Prinzip der komplementären Farbmischung. Werden zwei Komplementärfarben (z.B. rot und grün) gemischt, entsteht schwarz oder weiß. Dies hängt davon ab, ob es sich um additive oder subtraktive Farbmischung handelt. Die gängigen Anaglyphentests werden mit Rot-Grünfiltern durchgeführt (s. Abb. 7). Dieser Anaglyphentest funktioniert nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung. Die Kombination von rotem (grünem) Filterglas und grüner (roter) Sehprobe ergibt schwarz. Das rote Filterglas lässt das grüne Licht der Sehprobe nicht durch und das grüne verhindert, dass das Licht des roten Sehobjekts ans Auge gelangt. Wichtig ist, dass die Farben komplementär zueinander sind damit der rote Filter die grünen Elemente und der grüne Filter die roten Elemente der Sehprobe vollständig auslöscht. Ein Auge sieht dann nur den roten Punkt und das andere nur den grünen Punkt der Sehprobe (s. Abb. 7).





**Abb. 7: Anaglyphenverfahren. Quelle: [DIE-04]**

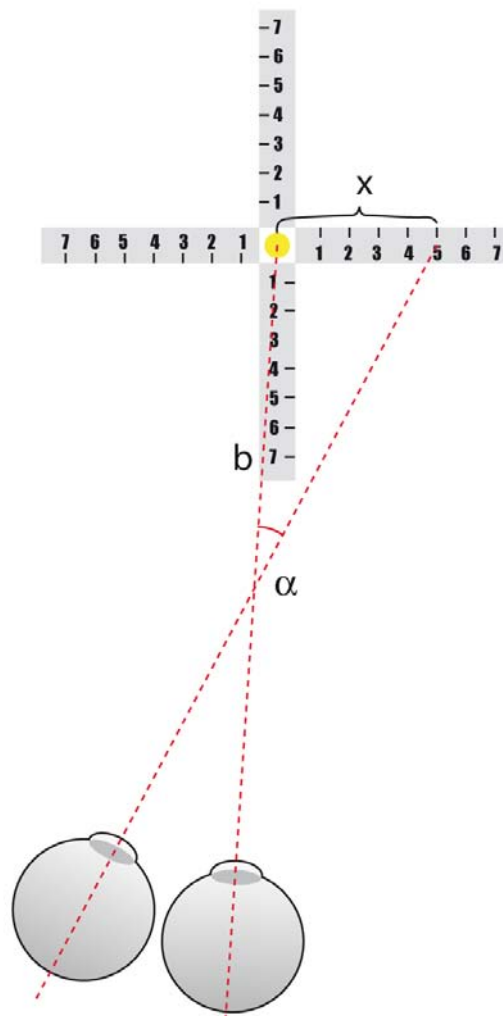
Farbfilter haben den Nachteil, dass die rote Farbe zu Nahakkommodation und mit ihr verbunden auch zur Konvergenz anregt. Dies führt zu einer Verschiebung der Ruhestellung in Richtung einer Esophorie. [DIE-04]

## 2.5 Der Hess-Schirm und verwandte Verfahren zur Messung der Motilität

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise der Tangententafel, der Harmswand, des Lee-Screens, so wie des Hess-Schirms beschrieben. Ein weiterer Abschnitt beschäftigt sich mit den existierenden Koordinatensystemen zur Messung von Schielwinkeln. Es werden außerdem Einblicke in zwei Studien gegeben, die sich mit der Vergleichbarkeit von Lee-Screen/Hess-Schirm und der Computerbasierten Version beschäftigen.

### 2.5.1 Prinzip der Schielwinkelbestimmung an der Tangententafel

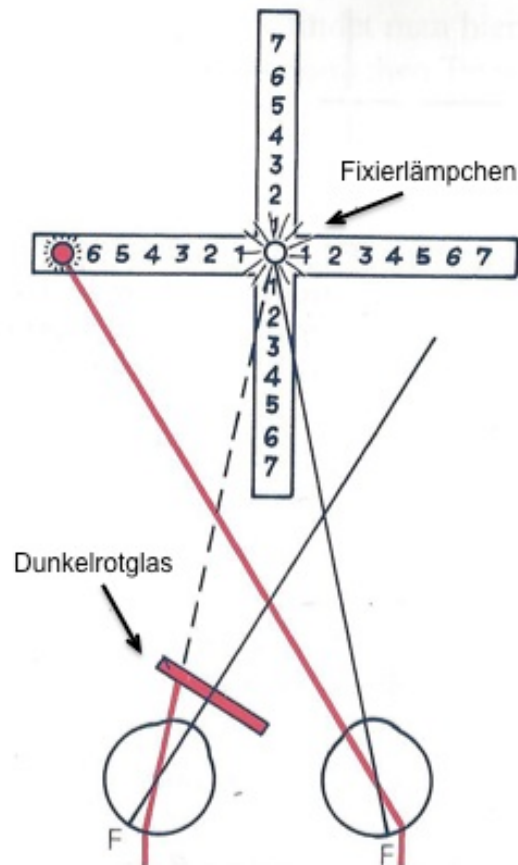
Tagententafeln können für beliebige Prüferentfernungen angefertigt werden. Eine häufig verwendete Tagententafel ist das Maddox-Kreuz. Dieses ist auf die Prüfabstände 1 m und 5 m ausgelegt. Die Skala des Maddox-Kreuzes für einen Abstand von 5 m ist für kleine Schielwinkel bis 7° geeignet. Für größere Schielwinkel muss der Prüfabstand auf 1 m verringert werden. Berechnet werden die Gradeinteilungen für die verschiedenen Abstände mit folgender Formel:  $\chi = b * \tan \alpha$  (s. Abb. 8).  $b$  ist dabei die Prüfdistanz.  $\chi$  ist der Abstand von fixiertem Lämpchen zu dem Punkt der auf der Skala abgelesen wird.  $\alpha$  ist der Schielwinkel, dieser kann berechnet werden, wenn  $b$  und  $\chi$  bekannt ist.



**Abb. 8: Berechnung einer Tagententafel**

Bei der Messung am Maddox-Kreuz wird das Sehen des Patient durch ein Dunkelrotglas vor einem Auge vollständig dissoziiert. Das Auge mit dem Dunkelrotglas sieht nur noch das Fixierlämpchen und nicht mehr die Umgebung. Die Fusion ist somit unterbrochen. Bei Orthophorie und normaler Netzhautkorrespondenz wird das rote Licht (eingefärbt durch Rotglas) an der gleichen Stelle abgebildet wie das weiße Fixierlicht. Weichen die Augen nach

innen ab (Esophorie), wird der rote Lichtpunkt auf der Skala in Richtung dem Auge vor dem sich das Rotglas befindet, verschoben. Befindet sich das Dunkelrotglas vor dem linken Auge, wird der rote Lichtpunkt links vom Fixierlämpchen abgebildet. Wenn in diesem Fall das rechte Auge das weiße Licht fixiert, weicht das linke Auge hinter dem Rotglas nach innen ab. Das Licht fällt im linken Auge auf eine exzentrische, nasal gelegene Netzhautstelle. Diese Netzhautstelle korrespondiert mit einer temporal gelegenen Netzhautstelle des rechten Auges. Im Raum wird das rote Licht also links vom Fixierlicht abgebildet (s. Abb. 9).



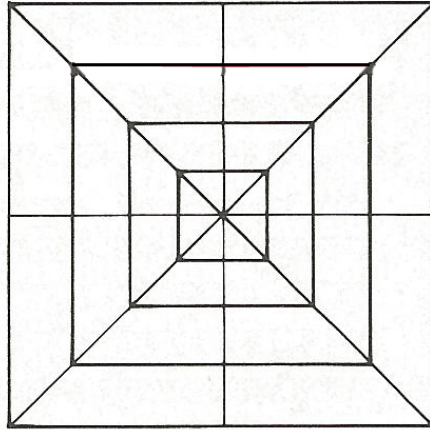
**Abb. 9: Messung am Maddox-Kreuz bei Esophorie. Quelle:[LAN-03]**

Man spricht auch von ungekreuzten Doppelbildern bei der Esophorie und von gekreuzten Doppelbildern bei der Exophorie.

### 2.5.2 Koordinatensysteme

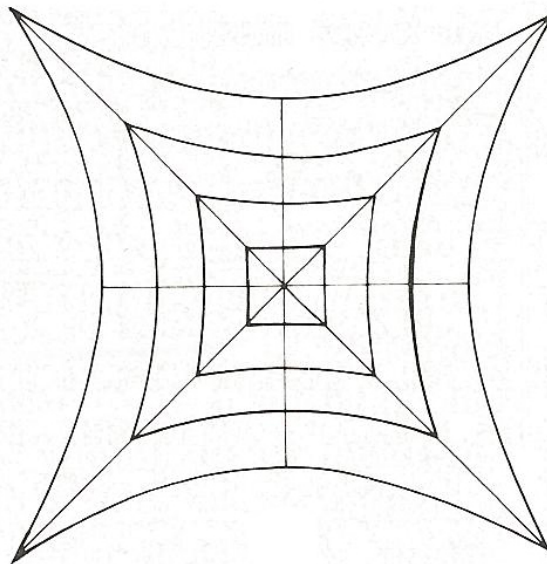
Um die Abweichungen (Schielwinkel) in verschiedene Blickrichtungen zu erfassen, wurden schon früh Koordinatensysteme entwickelt. 1867 wird das Koordinatensystem, das heute noch bei der Harmswand angewendet wird, von Graefe entwickelt. Das Koordinatensystem der Harmswand entsteht durch die Projektion von Längengeraden einer Kugel aus deren

Mitte heraus, auf eine frontoparallele Ebene. Das führt zu geraden senkrechten und waagrechten Linien (s. Abb. 10) [MÜH-90].



**Abb. 10: Koordinatensystemen der Harmswand. Quelle: [MÜH-90]**

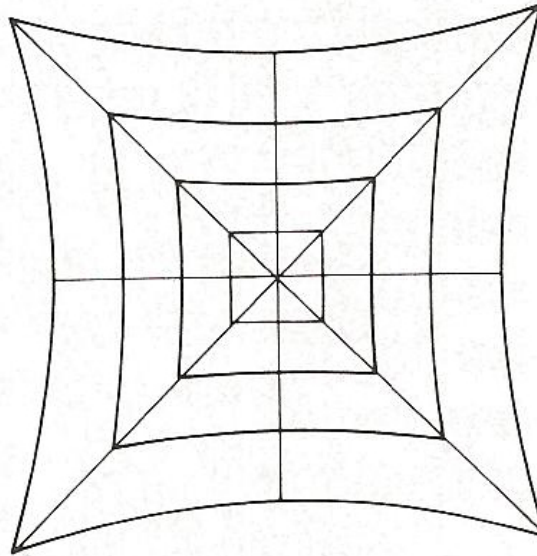
Beim Koordinatensystem des Hess-Schirms werden dagegen die Breitengrade einer Kugel auf eine frontoparallele Ebene (plane Fläche) projiziert. Dies führt zu den stark gekrümmten horizontalen und vertikalen Linien des Hess-Schirms (s. Abb. 11). Der Bezugspunkt dieser Linien ist der Drehpunkt der Augen. Der Kopf des Patienten befindet sich in der Mitte einer gedachten Kugel.



**Abb. 11: Koordinatensystem nach Hess. Quelle: [MÜH-90]**

Es gibt dann noch ein von Helmholtz entwickeltes Koordinatensystem. Dieses wurde mit der Nachbildmethode entwickelt. Es zeigt die Bewegungsbahnen der Nachbilder nicht schielender Probanden beim Blick in die verschiedenen Richtungen (Sekundär- und Tertiärpositionen). Ein eingeblendetes Nachbildkreuz kann entlang der Helmholtz-Koordinaten ohne Ver-

zerrungen geführt werden. Das Koordinatensystem ist nicht so stark gebogen wie das von Hess (s. Abb. 12) [MÜH-90].



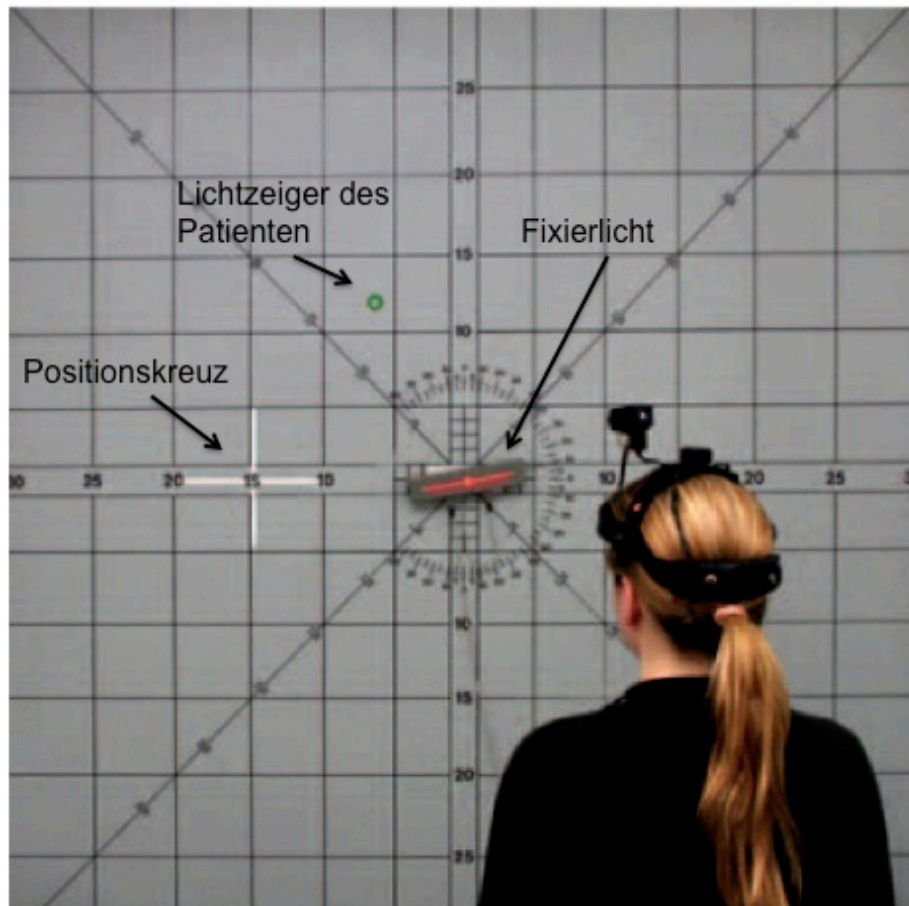
**Abb. 12: Koordinatensystem nach Helmholtz. Quelle: [MÜH-90]**

Die drei Koordinatensysteme unterscheiden sich nur in den Tertiärpositionen. Beim Hess-Schirm und an der Harmswand kann es deswegen bei der Bestimmung der Tertiärpositionen zu kleinen Messfehlern kommen [STR-95].

### 2.5.3 Tangententafel nach Harms (Harmswand)

Die Tangententafel nach Harms ist ein verbreitetes Verfahren zur Messung der Motilität des Auges, das in vielen ophthalmologischen Fachbüchern beschrieben wird [DIE-08], [KAU-04], [LAC-08], [STR-95], [GRE-08].

Bei dieser Methode sitzt der Patient meist in einem Abstand von 2,5 Metern vor einer Tangententafel. Vor das fixierende Auge wird ein Rotglas gehalten, der Patient kann mit diesem Auge jetzt nur noch das Fixierlämpchen sehen, alles andere ist dunkel. Der Patient bekommt einen grünen Lichtzeiger, dessen Lichtpunkt er nur mit dem Auge ohne Rotglas wahrnehmen kann. An der Stirn des Patienten ist eine Lampe befestigt, die ein Kreuz an die Tangententafel projiziert (s. Abb. 13). Durch dieses Positionskreuz ist eine Kontrolle der Kopfhaltung möglich. Kopfneigungen und Kopfzwangshaltungen können so aufgedeckt werden.



**Abb. 13: Tangententafel nach Harms. Quelle: [GRE-08], s. 381**

Der Patient soll nun immer das rote Lämpchen fixieren und versuchen, mit dem grünen Lichtzeiger auf dieses Lämpchen zu zeigen. Um den roten Lichtpunkt im Raum zu lokalisieren, muss der Patient diesen mit dem nichtfixierenden Auge ansehen, weil er mit dem anderen, vom Rotglas verdeckten Auge, die Umgebung nicht wahrnehmen kann. Im Gehirn werden dann das foveolare Bild des roten Lichtpunkts des fixierenden Auges und der grüne Lichtpunkt auf der sehrichtungsgleichen Netzhautstelle des anderen Auges nach dem Prinzip der Konfusion übereinander gebracht. Weicht ein Auge ab, bzw. schneiden sich die Fixierlinien beider Augen nicht im Objektpunkt (hier das rote Lämpchen), wird der Patient mit dem grünen Zeiger neben das rote Licht zeigen. Das heißt, der grüne Punkt gibt während der Untersuchung an, welchen Punkt das schielende Auge anblickt. Aus den Abweichungen kann man auf die horizontalen und vertikalen Schielwinkel schließen. Es können Schielwinkel in verschiedenen, genau definierten Blickrichtungen, gemessen werden. Dies geschieht durch Kopfdrehung des Patienten. Möchte man den Schielwinkel beim Blick um  $15^\circ$  nach rechts messen, muss der den Kopf um 15 Grad nach links drehen (s. Abb. 13) [GRE-08]. Mit der Tangententafel können auch Zyklodeviationen (Verrollung des Auges) gemessen werden. Dazu wird das Fixierlicht zu einer Lichtlinie aufgeblendet. Erscheint dem Patienten diese ho-

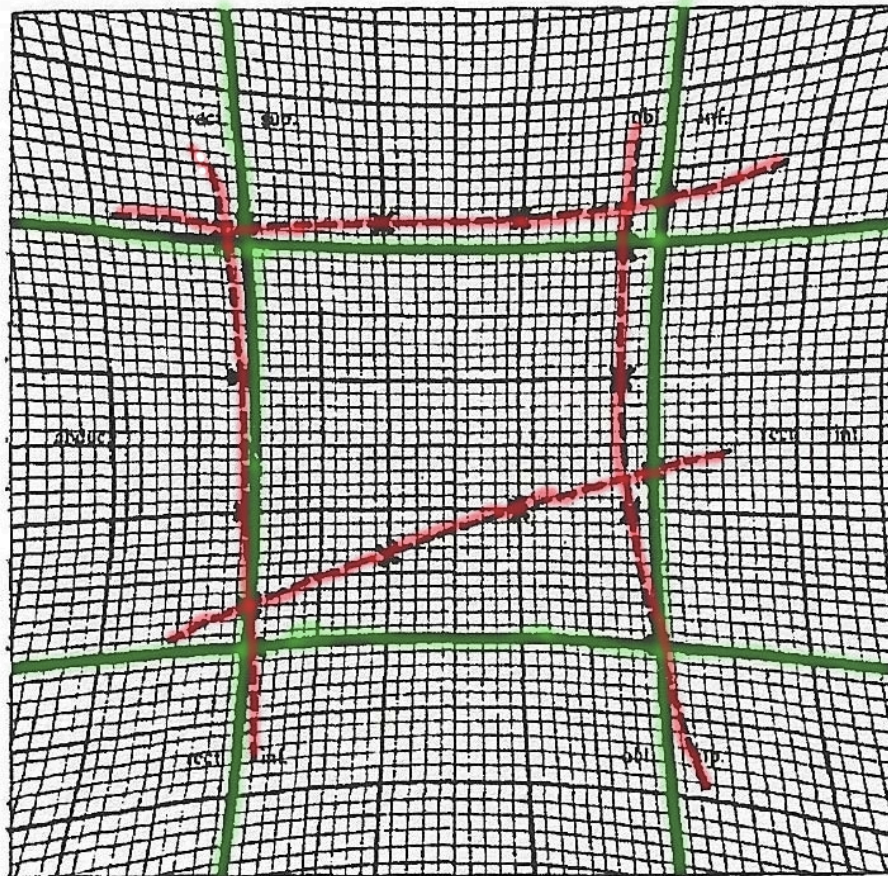
horizontale Linie geneigt, soll er die Linie verdrehen, bis sie ihm horizontal erscheint. Die Verdrehung kann an einer Gradskala abgelesen werden.

Diese so gemessenen Winkel, die vom Patienten subjektiv angegeben wurden, stimmen nur mit den objektiven Schielwinkeln überein, wenn dieser über eine normale Sehrichtungsgemeinschaft und zentrale Fixation verfügt [STR-95].

#### *2.5.4 Hess-Schirm (Koordinometrie nach Hess)*

Den Hess-Schirm gibt es mittlerweile in verschiedenen Ausführungen. Seine ursprüngliche Form wurde 1908 von Dr. Walter Hess an der Universitätsklinik in Zürich entwickelt. Er bestand damals aus einer 120 cm x 120 cm großen schwarzen Tafel aus Filz. Der Abstand vom Patienten bis zur Tafel beträgt einen Meter. Auf dieser Tafel sind vier grüne Linien aufgebracht, die sich so schneiden, dass sie ein Viereck bilden. Der Patient trägt eine Rot-Grün-Brille und gibt an, wann eine rote Marke, die vom Untersucher bewegt wird, die grünen Linien schneidet. Die Messung wird zweimal durchgeführt, einmal mit dem roten Glas vor dem linken und dem grünen Glas vor dem rechten Auge. Beim Zweiten Durchgang werden die Gläser getauscht. Diese Schnittpunkte werden auf eine verkleinerte, auf Papier gedruckte Version des Hess-Schirms übertragen [HES-08]. Die Abb. 14 zeigt die Aufzeichnung einer Messung bei rotem Glas vor dem erkrankten Auge. Das rote Viereck beschreibt die beschränkte Beweglichkeit des erkrankten Auges.





**Abb. 14: Aufzeichnung der Messung eines Auges an ursprünglichem Hess-Schirm.**

Quelle: [HES-08, S.234]

Die Koordimetrie bezeichnet Verfahren (zur Bestimmung von Schielformen), die mit speziellen Untersuchungsschirmen und zwei verschiedenen Sehobjekten arbeiten [STR-95]. Die Sehobjekte werden bei diesen Verfahren mittels Konfusion übereinander gebracht. Konfusion bedeutet, dass die Abbildung zweier verschiedener Objekte auf sehrichtungsgleiche (korrespondierende) Netzhautstellen fallen. Das Prinzip ist also das selbe wie das der Tangententafel (s. 2.5.1), nur sieht ein Auge statt der Umgebung ein anderes Sehobjekt. Weicht die Fixierlinie eines Auges ab, kann nur noch ein Sehobjekt foveal abgebildet werden, das andere wird auf einer exzentrischen Netzhautstelle abgebildet. Es kommt zu einer vom Untersucher erkennbaren Abweichung zwischen diesen zwei Sehobjekten (Schielwinkel).

Bei Koordimetrie nach Hess wird die Bildtrennung mit einer Rot/Grün-Brille gewährleistet. Das Auge vor dem sich das rote Glas befindet, sieht nur das vom Untersucher vorgegebene (rote) Sehobjekt. Das Auge vor dem sich das grüne Glas befindet, sieht nur das (grüne) Sehobjekt, das vom Patienten zum Anzeigen der Position des roten Sehobjektes gesteuert wird.

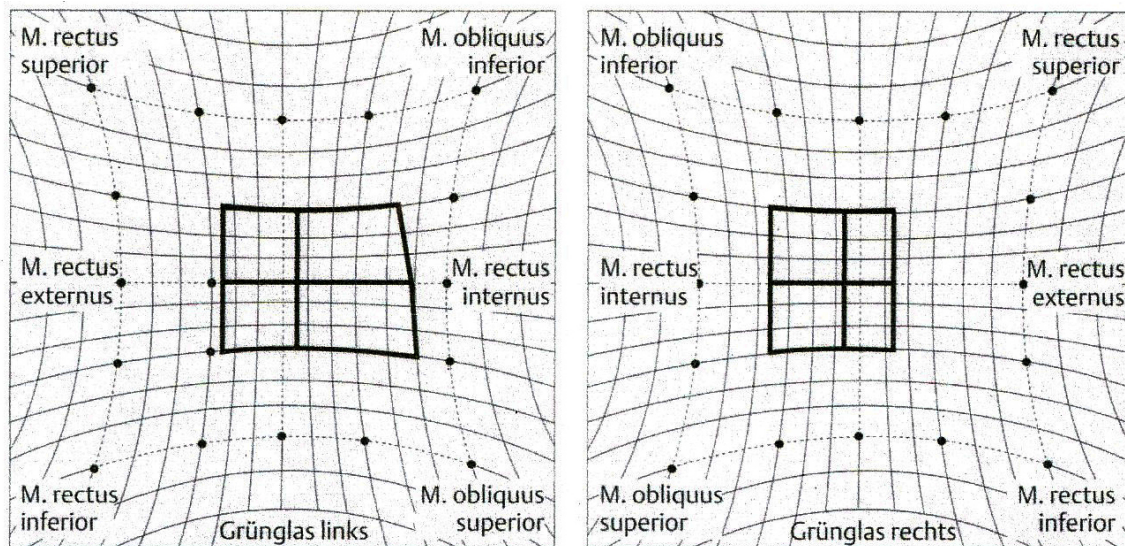
Bei den Hess-Schirmen, die heute meist verwendet werden, befinden sich in den Schnittpunkten bestimmter horizontaler und vertikaler Linen (alle  $15^\circ$ ) rote LED, die als Fixationsob-



jekte dienen. Wie schon bei Hess trägt der Patient eine Rot-Grün-Brille, er hat hier die Aufgabe, mit einem grünen Zeiger auf die leuchtende rote LED zu zeigen. Die auftretenden Abweichungen werden vom Untersucher für jedes Auge auf einem auf Papier gedruckten Hess-Schirm (Hess-Chart) eingetragen.

In diesem Hess-Chart sind auch die Zugrichtungen der sechs äußeren Augenmuskeln eingetragen, welches hilft, um sofort eine Diagnose treffen zu können (s. Abb. 15). Als erstes wird das linke Auge untersucht, das heißt, das rote Glas befindet sich vor dem rechten Auge und das linke bestimmt die Position des grünen Zeigers. Nach einem Durchgang wird die Brille umgedreht und das rechte Auge wird vermessen. Beide Objekte, die rote LED und der Punkt des grünen Laserpointers, decken sich nur dann, wenn sich die Fixerlinien beider Augen im Ort des roten Fixierlämpchens schneiden. [DIE-08]

Diese Methode wird verwendet, um die Ursache von Doppelbildern zu ermitteln. Es werden Erkenntnisse über die Art des Schielens, die vorliegt, gewonnen. Es wird ermittelt, ob das Schielen konkomitant ist oder inkomitant. Aus dieser Erkenntnis kann die weitere Therapie gewählt werden. Eine erworbene Augenbewegungsstörung (inkomitantes Schielen) bedarf einer raschen medizinischen Behandlung der zugrunde liegenden Ursache (z.B. Hirnblutung, Infarkt, Hirntumor). In Abb. 15 ist das Hess-Chart einer Untersuchung bei einer Lähmung des M. rectus lateralis am rechten Auge zu sehen. Es ist gut zu erkennen, dass am rechten Auge (Grünglas rechts) die Blickrichtung nach rechtsaußen stark eingeschränkt ist. Das eingezeichnete Gitter ist rechtsaußen kürzer. Am linken Auge (Grünglas links) ist hingegen eine Überschussreaktion zu beobachten. Das Feld, das durch das Einzeichnen der Abweichungen für das linke Auge entsteht, ist nach nasal verzogen. Bei Augenlähmungen ist das Feld immer in der Zugrichtung des gelähmten Muskels eingeschränkt. Am gesunden Auge hingegen ist das Feld in der gleichen Richtung erweitert. So kann anhand der Größe der Felder erkannt werden, welches Auge das gelähmte ist. Es ist das Auge, an dem das kleinere Feld aufgezeichnet wurde. Dieses Phänomen lässt sich mit dem Hering'schen Gesetz erklären, das Helferpaar (kontralaterale Synergisten) M. rectus medialis und lateralis wird gleich stark innerviert. Der M. rectus lateralis wird sehr stark innerviert, weil er wegen der Lähmung nicht reagiert.



**Abb. 15: Hess-Chart Lähmung des M. rectus lateralis rechts. Quelle: [DIE-08] S. 182**

Liegt eine Heterophorie oder ein Begleitschielen vor, sind die Messpunkte auf gleicher Weise versetzt, unabhängig davon, welches Auge fixiert [DIE-08].

Große Abweichungen lassen sich gut bei der Überprüfung der neun diagnostischen Blickrichtungen überprüfen, s. Kapitel 2.1. Kleine Abweichungen können nur durch weitere Untersuchungsmethoden, wie z.B. dem Hess-Schirm aufgedeckt werden [THO-90]. Am Hess-Schirm können die Schielwinkel darüber hinaus nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ erfasst und dokumentiert werden. Es gibt einige Voraussetzungen, damit die Messung am Hess-Schirm durchgeführt werden kann. Die Messungen liefern nur brauchbare Ergebnisse, wenn beim Patienten eine normale retinale Korrespondenz vorliegt. Die Beleuchtung des Raums ist ebenfalls wichtig, der Proband sollte nur die roten und grünen Stimuli erkennen, nicht aber das Hess-Gitter [ROO-07]. Die Sehobjekte sollten möglichst gut vom jeweils komplementären Brillenglas ausgelöscht werden.

Im Vergleich zur Harmswand sind die Messungen am Hess-Schirm schneller durchzuführen, und das graphische Ergebnis der Messungen ist leicht zu interpretieren. Besonders Augenmuskellähmungen lassen sich mit dieser Methode gut darstellen und diagnostizieren [LAN-03].

### 2.5.5 Lee Screen

Der Lee Screen ist ebenfalls eine weitverbreitete Ausführung der Hess-Tafeln. Die Trennung der beiden Seheindrücke wird hier mit Hilfe eines zweiseitigen Spiegels durchgeführt. Der Lee Screen besteht aus zwei Kästen, welche im rechten Winkel zueinander angebracht sind. Beide Kästen besitzen Glasfenster, die jeweils eine Hess-Tafel darstellen. Jeder der Kästen

kann beleuchtet werden. Der Patient sitzt im Abstand von 50 cm und fixiert durch eine Kinnstütze so vor dem Lee Screen, dass jedes Auge nur einen der Kästen sieht.

Ein Kasten wird dauerhaft beleuchtet, dorthin schaut nun zuerst das linke Auge. Das rechte Auge sieht den unbeleuchteten Kasten. Der Untersucher zeigt auf einen Punkt im beleuchteten Kasten und fordert den Patient auf, die gleiche Stelle im unbeleuchteten zu zeigen. Der Untersucher beleuchtet diesen Kasten für ein paar Sekunden um die gezeigte Position auf Papier festzuhalten. Dieser Test muss anschließend wiederholt werden. Diesmal sollte das rechte Auge den dauerhaft beleuchteten Kasten sehen. Beim Lee Screen ist im Gegensatz zum Hess-Schirm kein voll funktionsfähiges Farbsehen nötig, da die Trennung der Seheindrücke durch Spiegel und nicht durch eine Rot-Grün-Brille gewährleistet wird [ROO-07].

## **2.6 Ältere Studien**

Dieses Kapitel befasst sich mit zwei Studien, die zu dem Thema Vergleichbarkeit von Computerversion und konventionelle Methode der Koordimetrie bereits durchgeführt wurden.

### 2.6.1 Vergleichbarkeitsstudie Hess-Schirm/ Computerversion

Die Studie wird unter dem Titel. "A new system for the measurement of ocular motility using a personal computer" veröffentlicht. Sie wird 1990 von W. David Thomson durchgeführt. Diese Studie vergleicht einen elektrischen Hess-Schirm mit einer Software, die nach dem System des Hess-Schirms funktioniert. Die Messungen am elektrischen Hess-Schirm (EHS) finden im Abstand von 50 cm unter der Verwendung einer Kinnstütze statt. Der EHS besteht aus einer grauen Tafel, auf der im Abstand von 15° zueinander 25 LED angebracht sind. Der Untersucher schaltet eine LED an, auf die der Patient mit einer grünen Lampe zeigt. Es werden 30 Patienten des Moorfield Eye Hospital in London untersucht, die Patienten sind im Durchschnitt 49 Jahre alt. Bei allen Patienten liegt Strabismus vor.

Verglichen wird der EHS mit dem sogenannten Automated-Hess-Screen (AHS), dieser besteht aus einem 20 Zoll großen Monitor und einer Kinnstütze in 25 cm Entfernung von der Mitte des Bildschirms. Diese Entfernung wird gewählt, um denselben Beobachtungswinkel, wie am EHS zu erreichen. Der Patient trägt eine Rot-Grün-Brille. Auf dem Monitor erscheint ein roter Stimulus (z.B. ein roter Kreis) und der Patient muss dann einen grünen Stimulus per Joystick bewegen, um diesen mit dem roten zur Deckung zu bringen. Nach einer wählbaren Anzahl roter Zielpunkte wechseln die Farben und der Patient muss den roten Kreis verschieben. Die Messungen finden in einem abgedunkelten Raum statt. Die Abweichungen der beiden Verfahren voneinander werden getrennt für die vertikale und die horizontale Richtung

erfasst. In horizontaler Richtung gibt es signifikante Unterschiede, am AHS gibt es stärkere Abweichungen in Richtung Konvergenz. In vertikaler Richtung unterscheiden sich beide Messverfahren dagegen kaum. Die Mittelwerte der Messunterschiede betragen hier für das linke Auge X: 2,07, Y: 0,09 und für das rechte Auge X:-1,23, Y:0,43 Grad. Laut der Studie kann mit den Hess-Charts des EHS eine etwas genauere Diagnose durchgeführt werden, als mit den graphischen Ergebnissen des AHS. Die Reproduzierbarkeit bei der Messmethoden wird bei dieser Studie anhand eines Patienten ermittelt. Dieser Patient wird an fünf Tagen hintereinander mit dem AHA und dem EHS gemessen. Der Mittelwert der Standardabweichung ist für beide Augen am AHS X: 1,08, Y:1,03 Grad und am EHS X: 0,66, Y: 0,63 Grad [THO-90].

#### 2.6.2 Vergleichbarkeitsstudie Lee Screen/OMA

Diese Studie wurde am University Hospital of Wales, Department of Ophthalmology, durchgeführt. Mit dem Titel: "Validity and ease of use of a computerized Hess chart", wurden die Ergebnisse 2011 veröffentlicht. Bei dieser Studie geht es um den Vergleich des traditionellen Lee Screens mit dem „Assaf Ocular Motility Analyzer (OMA)“, ein Computerprogramm, das nach dem Prinzip des Hess-Schirms funktioniert. Der Abstand von Proband zum Lee Screen betrug 55,5 cm und zum „OMA“ von 27,3 cm. An der Studie waren 65 Patienten des „University Hospitals of Wales“ beteiligt, sie mussten alle einen Visus von mindestens 0,2 erreichen und durften nicht jünger als 16 Jahre sein. Es wurde auch eine normale retinale Korrespondenz vorausgesetzt. Die Messungen am Lee Screen und am „OMA“ wurden in zufälliger Reihenfolge durchgeführt. Erklärt und durchgeführt wurde die Messungen immer vom selben Untersucher. Die Studie zeigt, dass der konventionelle Lee Screen und der OMA nicht die gleichen Ergebnisse liefern. In der horizontalen gibt der „OMA“ für beide Augen größere Abweichungen als der Lee Screen an. In der Vertikalen sind die Abweichungen hingegen für das linke Auge immer kleiner als am Lee Screen. Am rechten Auge stimmt die vertikale Abweichung des OMA mit der des Lee Screens überein.

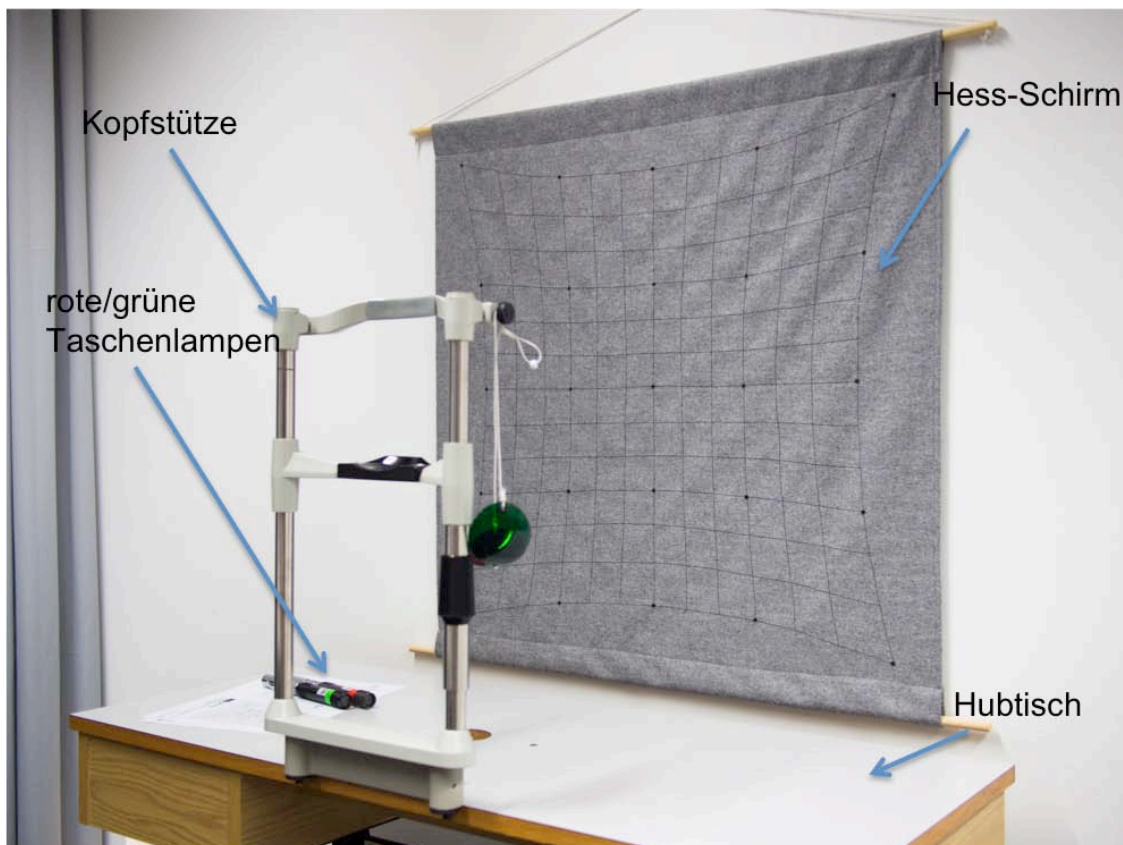
Die Messergebnisse der beiden Verfahren unterscheiden sich signifikant. Es wird als mögliche Ursache der geringe Prüfabstand am „OMA“ genannt, sowie ein nicht geeigneter Prüfabstand am Lee Screen, der auf einen Abstand von 50 cm ausgelegt ist [WAT-11].

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Konventioneller Hess-Schirm (HS)

Der bei den Messungen verwendete Hess-Schirm der Firma Celment Clark Ophtalmic besteht aus einer 78 x 80 cm großen Filztafel. Das darauf befindliche, mit schwarzem Faden aufgestickte Viereck misst 67 x 67 cm. In den Schnittpunkten der horizontalen und vertikalen Linien sind Punkte aufgebracht, die sich in einem Abstand von 15° zueinander befinden. Von diesen Messpunkten gibt es 25 Stück. In vertikaler und horizontaler Richtung wird ein Blickfeld von 30° überprüft.

Der Prüfungsabstand beträgt 50 cm, dieser konstante Abstand wird durch eine Kopfstütze gewährleistet. Die Kopfstütze ist auf einem in der Höhe verstellbaren Hubtisch angebracht (s. Abb. 16).



**Abb. 16: Messaufbau konventioneller Hess-Schirm**

Die Filztafel wird so aufgehängt, dass sich der Messpunkt in der Mitte der Tafel direkt vor den Augen des Probanden befindet. Zwei kleine Taschenlampen dienen als Fixierobjekt, bzw. als Zeiger. Der Proband trägt bei der Messung eine wendbare Rot-Grün-Brille (s. Abb. 17).



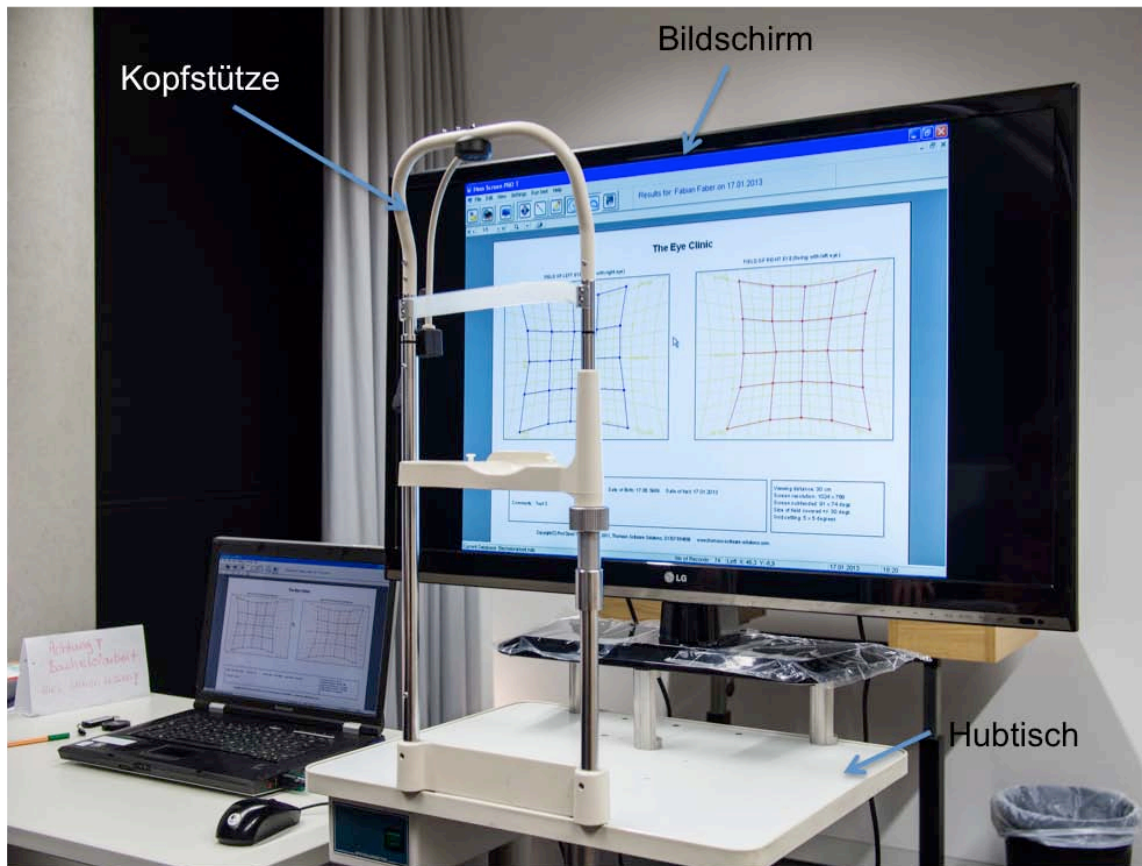
**Abb. 17: Rot-Grün-Brille für konventionellen HS**

Im ersten Durchlauf befindet sich das rote Glas der Rot-Grün-Brille vor dem rechten Auge. Beim zweiten Durchlauf wird die Brille umgedreht. Die vom Untersucher am Hess-Schirm beobachteten Abweichungen werden auf einem auf Papier gedruckten Gitter aufgetragen.

### **3.2 Hess Screen PC (PC HS)**

Die Messung mit dem Programm „PC Hess Screen“ von Thomsonsoftware Solution wurde mit Hilfe eines 37 Zoll großen Flachbildschirms durchgeführt. Dieser Flachbildschirm ist auf einem Hubtisch fixiert, in 30 cm Abstand ist eine Kopfstütze angebracht (s. Abb. 18).





**Abb. 18: Messaufbau PC Hess Schirm**

Abgespielt und gesteuert wird das Programm von einem Laptop aus. Die Maus dient dem Probanden während der Messung als Zeiger. Beim PC Hess Screen wird eine Rot-Blau-Brille verwendet, da die Stimuli ebenfalls Rot und Blau sind (s. Abb. 19).



**Abb. 19: Rot-Blau-Brille für PC HS**

Das Programm „PC Hess Schirm“ muss zu Beginn auf den Bildschirm angepasst werden. Im Reiter „Settings“ wird der Punkt „Screen Calibration“ ausgewählt und die gemessene Größe des dort dargestellten Vierecks wird in die dafür vorgesehen Felder eingetragen (s. Abb. 20).

Carefully measure the width and height of this red square and enter the results in mm in the boxes below

Screen Calibration

Enter width of red square in mm

Enter height of red square in mm

Enter screen viewing distance (cm)

Screen resolution: 1024 x 768  
Screen measures: 61 x 45 cms  
Screen subtends: 91 x 74 degs

Test field size =  degs

**Abb. 20: Screen Calibration**

Um bei dem vom Hersteller empfohlenen Mindestbeobachtungsabstand von 30 cm den selben Beobachtungswinkel wie am konventionellen Hess-Schirm zu gewährleisten, wurde im Feld "Test Field Size" manuell die Zahl auf 30° geändert. Mehr dazu im Kapitel 3.5. Die Messungen werden gestartet, indem man im Menü auf „Run Test“ klickt. Es erscheint vor Testbeginn ein Feld, in dem zwischen dem Test mit 9-Punkten und dem mit 25-Punkten gewählt werden kann. Bei dieser Thesis wird stets der 25-Punkte-Test gewählt. Das Erscheinungsbild des Stimulus kann ebenfalls gewählt werden. Es werden hier immer die Ringe gewählt (s. Abb. 21).



Stimulus

- ☒ Circles
- ☐ Cartoon
- ☐ Bars (Torsion)

Test type

- ☐ Quick Test (9 points)
- ☒ Full test (25 points)
- ☐ Play sound

Field size

Screen subtends: 91 x 74 degs

Field tested: +/-  degs

Put on the red and green glasses and view the screen from 30 cm. Turn all the room lights off then click on Start test when you are ready.

Start test    Cancel

**Abb. 21: Auswahlmenü vor Teststart**

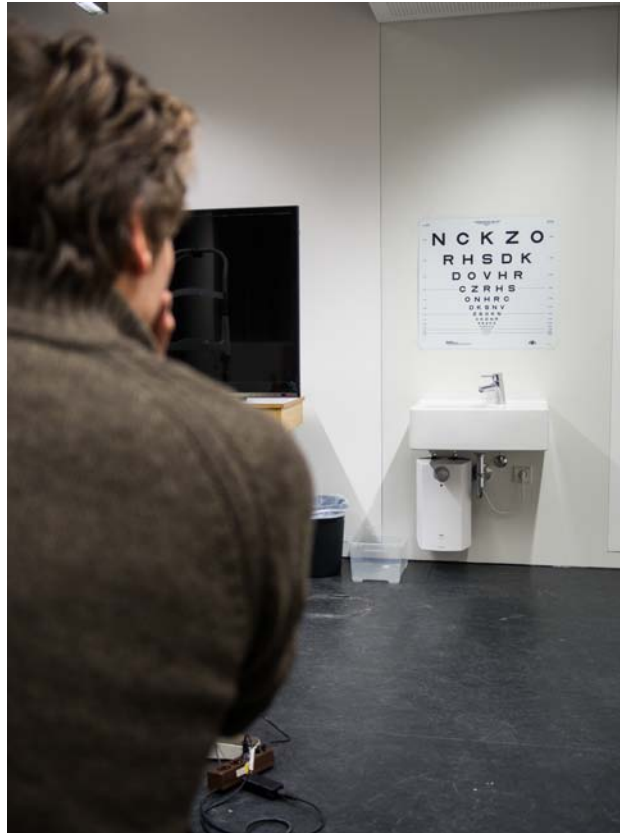
Das PC Hess Screen-Programm zeigt nach Auswahl des gewünschten Tests alle Stimuli (Fixierobjekte) automatisch an. Nach jedem Mausklick des Probanden wird vom Programm ein neues Fixierobjekt dargeboten, bis alle Punkte jeweils für das rechte und linke Auge abgearbeitet wurden. Es ist bei diesem Programm auch möglich die Torsion zu messen, dazu wird der Stimulus „Bars“ wählt. Diese Funktion wurde bei dieser Arbeit jedoch nicht getestet. Der Raum sollte laut Hersteller komplett dunkel sein, weil der Proband ansonsten den Rand des Bildschirmes erkennen kann, was zu einem „binocular lock“ führen könnte.

### 3.3 Probanden

Die in Kapitel 3.4 beschriebenen Messungen wurden an 40 Probanden durchgeführt. Ein Großteil der Probanden waren Studenten des Studiengangs Augenoptik/Hörakustik der Hochschule Aalen was den niedrigen Altersdurchschnitt von 25 Jahren erklärt. Die jüngste Probandin ist 18 Jahre alt und der älteste Proband 53 Jahre. 78% der Probanden sind Frauen. Bei sechs Probanden war eine leichte Phorie, Doppelbilder oder Schielen im Voraus bekannt. Alle Probanden werden, falls nötig, mit Kontaktlinsen korrigiert. Somit kann die eigene Brille als Störfaktor ausgeschlossen werden. Die meisten haben einen Visus zwischen 0,8 und 1,25, der Mittelwert liegt für beide Augen bei einem Visus von 1,1.

### 3.4 Untersuchungsablauf

Als erstes wird immer der Visus überprüft. Dies geschieht mit einer ETDRS-Tafel im Abstand von vier Metern (s. Abb. 22).



**Abb. 22: Visus prüfen an der ETDRS-Tafel.**

Die Leuchtdichte an der ETDRS-Tafel beträgt mit Tageslicht  $97,7 \text{ cd/m}^2$  und abends (ohne zusätzliches Tageslicht)  $75,6 \text{ cd/m}^2$ . Der Visus wird für jedes Auge (monokular) geprüft und in einer Excel-Tabelle erfasst. In dieser Tabelle wurde auch die beim Test getragene Korrektur festgehalten. Da eine Korrektionsbrille beim Tragen der Farbtrennungsbrillen stört, werden alle Probanden mit Kontaktlinsen korrigiert. Bei Presbyopen oder bei Probanden die in der Ferne nur einen sehr niedrigen Visus erreichen wird der Nahvisus für 40 cm geprüft. Da die Messungen in einem Beobachtungsabstand von 50 cm und 30 cm stattfinden und die zu erkennenden Stimuli relativ groß sind, ist ein mittlerer Nahvisus ausreichend. Die Motilität wird abwechselnd entweder zuerst am „konventionellen Hess-Schirm“ oder zuerst am „PC Hess Screen“ gemessen. Dieses Vorgehen sollte den Einfluss von Lerneffekten und Ermüdungserscheinungen reduzieren, bzw. auf beide Methoden gleichmäßig verteilen. Für beide Messungen wird vorher der Raum verdunkelt. Die am konventionellen Hess-Schirm gemessene Leuchtdichte beträgt  $0,04 \text{ cd/m}^2$ . Am PC Hess Screen wird aufgrund des lichtemittierenden Bildschirms eine Leuchtdichte von  $0,22 \text{ cd/m}^2$  gemessen.



**Abb. 23: Durchführung der Messung am PC Hess Schirm**

Das blaue Glas der Rot-Blau-Brille wird mit einer zweiten blauen Folie verstärkt, um die Auslöschung des roten Kreises für das Auge hinter dem blauen Glas zu verbessern. Ohne diese blaue Folie ist sonst ein schwacher zweiter roter Ring zu sehen (Geisterbilder). Es werden immer 25 Messpunkte geprüft, jeweils für das linke und das rechte Auge. Die vom PC Hess Screen angezeigten Ringe (Stimuli) unterscheiden sich in Farbe und Größe. Der vom Programm gesteuerte Ring, der quasi den Untersucher ersetzt, ist immer der größere. In die Mitte dieses Ringes soll der Proband einen kleineren Ring bringen (s. Abb. 23). Wird das linke Auge vermessen, ist der größere Ring rot und der kleine Ring blau. Nach der Messung des rechten Auges wechseln diese beiden Ringe automatisch ihre Farbe. In Abb. 23 wird gerade das rechte Auge vermessen.

Beim Hess-Schirm werden ebenfalls 25 Messpunkte erst für das linke und dann für das rechte Auge geprüft. Das rote Glas der Rot-Grün-Brille befindet sich zuerst vor dem rechten Auge, dann wird die Brille umgedreht, damit sich das rote Glas vor dem linken Auge befindet. Der Untersucher hält die rote Lampe und der Proband bekommt die grüne Lampe. Die beide Lampen, die rote und die grüne, projizieren jeweils ein V an die Tafel. Der Untersucher hält die Lampe so, dass die Spitze des Vs jeweils auf einen Punkt zeigt, der vom Proband fixiert werden soll. Der Proband versucht mit seinem grünen V ein X zubilden (s. Abb. 24).



**Abb. 24: Durchführung der Messung am konventionellen HS**

Die Abweichungen werden jeweils für das linke und das rechte Auge in einem auf Papier gedruckten Hess-Chart eingetragen.

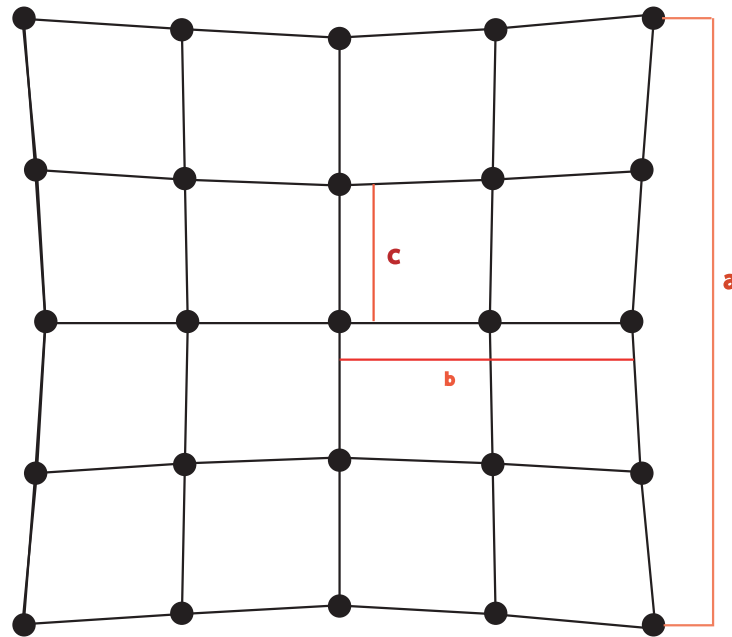
Die letzte Messung finden immer am "PC Hess Screen" statt. Bei dieser Messung wird auch der 25-Punkte-Test durchgeführt, nur diesmal ohne die zweite blaue Folie in der Rot-Blau-Brille. Diese zweite Messung soll zeigen, ob die schlechtere Auslöschung des roten Sehobjekts durch das Weglassen der blauen Folie ein Effekt auf die Messergebnisse hat.

### **3.5 Messfehler und Einflussfaktoren**

#### *3.5.1 Beobachtungswinkel*

Um den Beobachtungswinkel von PC Hess Schirm und des konventionellen Hess Schirms möglichst anzugleichen, werden zunächst verschiedene Strecken am HS gemessen (s. Abb. 25). Die Strecke a beträgt 67 cm. Die Strecke b beträgt 28,9 cm und Strecke c ist 13,6 cm lang. Der Abstand zwischen den Punkten beträgt beim Hess-Schirm  $15^\circ$ . Die Strecken b und c können mit Hilfe des Tangens auch rechnerisch bestimmt werden. Die berechneten Werte sind für b: 28,9 cm und für c: 13,4 cm, sie stimmen also gut mit den gemessenen Werten überein. Für die äußeren Eckpunkte ist die Berechnung komplizierter, weil der Hess-Schirm eine Projektion einer Kugeloberfläche darstellt. Da der konventionelle Hess-Schirm schon sehr lange bekannt ist und benutzt wird, dient er in dieser Arbeit als „Goldstandard“.

Um die Soll-Abstände für den PC Hess Screen zu erhalten, werden die Abstände a,b und c auf einen Abstand von 30 cm umgerechnet (z.B.  $30/50 * 67=40,38$ ). Die Soll-Abstände betragen für die Strecke a: 40,38 cm, b: 17,34 cm und für c: 8,16 cm. Um diese Abstände zu erhalten, wird nach der Kalibrierung und dem Eingeben des Abstandes in das PC Hess Screen-Programms noch der Wert im Feld "Field-Size" manuell auf 30° geändert (s. Kapitel 3.2, Abb. 20). In dieses Feld sollte nach Angaben des Herstellers eigentlich nichts eingegeben werden. Die Abstände betragen mit dieser Einstellung für a: 40,2 cm, b: 17,6 cm und für c: 8,2 cm.



**Abb. 25: Zeichnerische Darstellung des HS**

Die Auswertung der Messdaten hat gezeigt, dass sich die äußersten Messpunkte (Eckpunkte) des PC Hess Screens bei 29° befinden und nicht wie erwartet, bei 30° wie es auch beim konventionellen Hess-Schirm der Fall ist. Die Tabelle zeigt die in Excel exportierten Messdaten des PC Hess Screens. Die ersten beiden Spalten geben an, wo die Stimuli auf dem Bildschirm angezeigt werden (in Grad). Die Eckpunkte sind in der Tabelle gelb markiert (s. Tabelle 1).

Target X	Target Y Left Eye	Measured X	Measured Y
-29	29	-34,11	27,98
-15	30	-20,8	29,24
0	30	-6,5	30,21
15	30	7,96	31,01
29	29	22,04	31,62
-30	15	-34,49	14,6
-15	15	-21,11	15,14
0	15	-7,69	15,28
15	15	5,41	15,98
30	15	24,15	16,3
-30	0	-34,84	0,09
-15	0	-22,11	0,21
0	0	-7,75	0,56
15	0	8,19	0,34
30	0	24,02	0,83
-30	-15	-34,39	-14,37
-15	-15	-21,62	-14,8
0	-15	-7,16	-14,99
15	-15	6,94	-15,31
30	-15	24,63	-15,31
-29	-29	-34,32	-28,31
-15	-30	-21,24	-29,45
0	-30	-6,96	-30,43
15	-30	8,12	-31,24
29	-29	24,34	-29,85
Right Eye			
-29	29	-24,27	29,87
-15	30	-8,9	29,86
0	30	7,14	29,33
15	30	20,88	28,09
29	29	32,75	27,6
-30	15	-26,11	15,3
-15	15	-9,61	15,1
0	15	6,63	14,8
15	15	20,93	14,19
30	15	35,29	13,63
-30	0	-24,77	0,31
-15	0	-8,74	0,56
0	0	6,97	0,34
15	0	20,74	0
30	0	34,99	-0,09
-30	-15	-24,06	-14,91
-15	-15	-8,87	-15,03
0	-15	7,82	-14,65
15	-15	18,99	-14,57
30	-15	34,36	-14,54
-29	-29	-24,67	-28,85
-15	-30	-9,12	-29,59
0	-30	5,99	-29,15
15	-30	21	-28,29
29	-29	33,31	-28,02

Tabelle 1: In Excel exportierte Werte PC HS

### 3.5.2 Beleuchtung

Bei der Messung am Hess-Schirm ist es wichtig, das Beleuchtungsmaß richtig festzulegen. Ist es zu dunkel, kann der Untersucher die gesehenen Abweichungen nicht aufzeichnen, ist es zu hell, kann der Proband das Gitter des Hess-Schirms erkennen. Dieses Gitter wird dann binokular gesehen und kann fusioniert werden. Eine zu helle Umgebungsleuchtdichte führt am PC Hess Screen dazu, dass der Rand des Monitors gut zu sehen ist, was wiederum zu einem sogenannten „binocular lock“ führen kann. Der Raum soll laut Hersteller bei der Messung mit dem PC HS komplett dunkel sein. Bei den Messungen kam es zu Fehlereinflüssen durch eine kleine Lampe die angelassen wurde und vom abspielenden Laptop wurde ebenfalls Licht abgestrahlt.

### 3.5.3 Kopffixierung

Durch eine Kopfstütze wird das exakte Einhalten eines immer gleichen Abstandes vom Prüfgerät und das möglichst gerade Halten des Kopfes gewährleistet. Den Kopf ganz gerade zu halten und den Stimuli nur mit den Augen zu folgen ist nicht immer möglich, da die äußersten Punkte ohne Kopf heben oder drehen nicht sichtbar sind. Bei den äußersten Stimuli rechts und links unten ist einem Auge meist der Nasenrücken im Blickfeld, sodass einer der beiden Ringe ohne Kopfdrehen nicht zu sehen ist. Der Proband wird aufgefordert den Kopf wenn nötig in die gewünschte Blickrichtung zu bewegen.

### 3.5.4 Perfekte Auslöschung

Die Sehobjekte die vom PC Hess Screen dargeboten werden, werden durch die Rot/Blau-Brille nicht vollständig Ausgelöscht. Um die Auslöschung zu verbessern, die vor allem für den roten Ring nicht sehr gut ist, wird das blaue Glas der Brille mit einer blauen Folie verstärkt. Trotzdem wird der rote Ring von manchen Probanden noch leicht doppelt gesehen.

### 3.5.5 Handhabung der Maus am PC Hess Screen

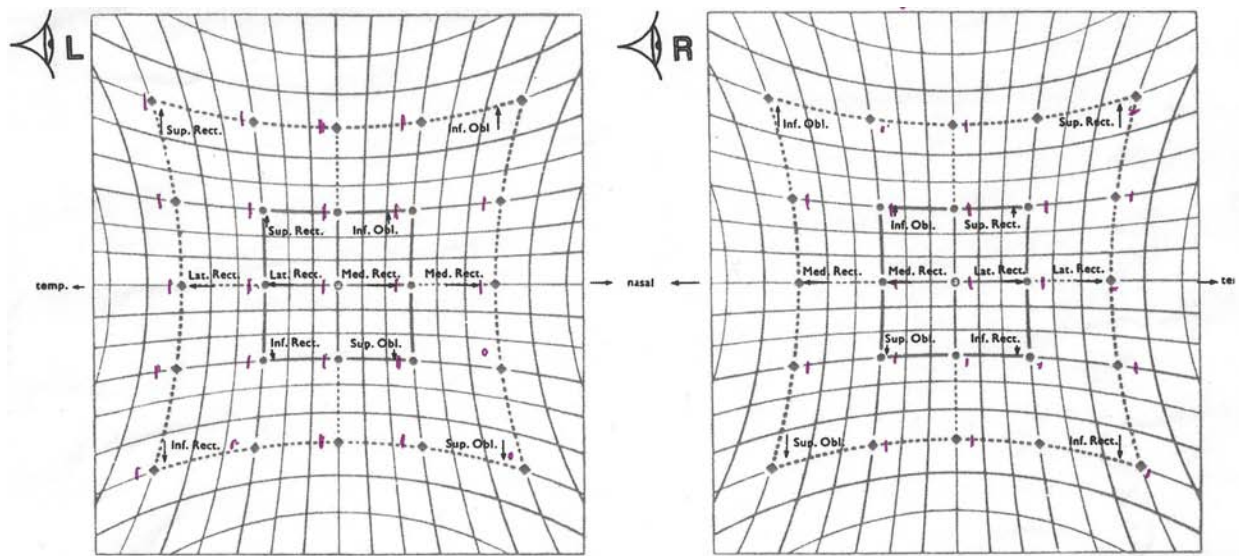
Die Handhabung der Maus ist für manche Probanden sehr mühsam. Auf dem verwendeten Hubtisch gibt es wenig Platz um die Maus zu bewegen. Stößt der Proband zu lange an den Rand des Messfeldes auf dem Bildschirm, verschwindet der große Ring und man muss den Test einen Schritt zurücksetzen, den Test neu starten oder die Position des Ringes schätzen. Bei einem Probanden reichte das Messfeld wegen größeren Abweichungen nicht aus. Die Hersteller empfehlen in diesem Fall trotzdem zu klicken, auch wenn der kleine Ring aus diesem Grund nicht in die Mitte des großen Ringes gebracht werden kann. Bei diesem Proban-



den kam es sehr oft zu einem Verschwinden des großen Ringes. Dies wurde vom Proband als sehr anstrengend empfunden. Das Programm des PC-HS bildet den kleineren vom Probanden zu steuernden Ring immer in der Nähe des großen vorgegebenen Ringes ab. Beim Wechsel vom linken zum rechten Auge wird der kleine Ring öfter an der Grenze des Messfeldes abgebildet was zu dem Effekt führt, dass der große Ring verschwindet.

### 3.5.6 Einzeichnen und Ablesen der Abweichungen am traditionellen Hess-Schirm

Die Abweichungen des traditionellen Hess-Schirms werden per Hand auf ein auf Papier gedruckten Hess-Schirm eingezeichnet (s. Abb. 26). Beim Eintragen kann es leicht zu Fehlern kommen, da der Raum beim durchführen der Messungen abgedunkelt ist. Die Abweichungen müssen abgeschätzt und anschließend an der richtigen Stelle eingetragen werden. Das spätere Ablesen der Abweichungen ist höchstens auf  $1^\circ$  genau möglich. Ein Anhaltspunkt beim Schätzen der Abweichungen bieten die Kästchen des Hess-Charts, sie haben eine Höhe und Breite von  $5^\circ$ . Die horizontalen und die vertikalen Abweichungen werden bestimmt und in Tabellenform gebracht um diese Werte mit denen des PC Hess-Schirms vergleichen zu können.



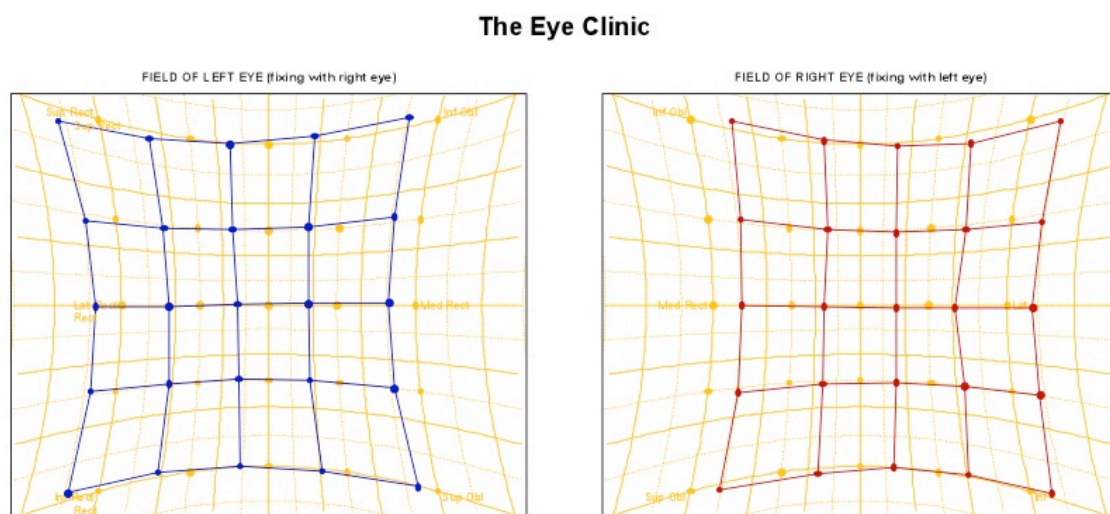
**Abb. 26, Beispiel Hess-Screen-Chart**



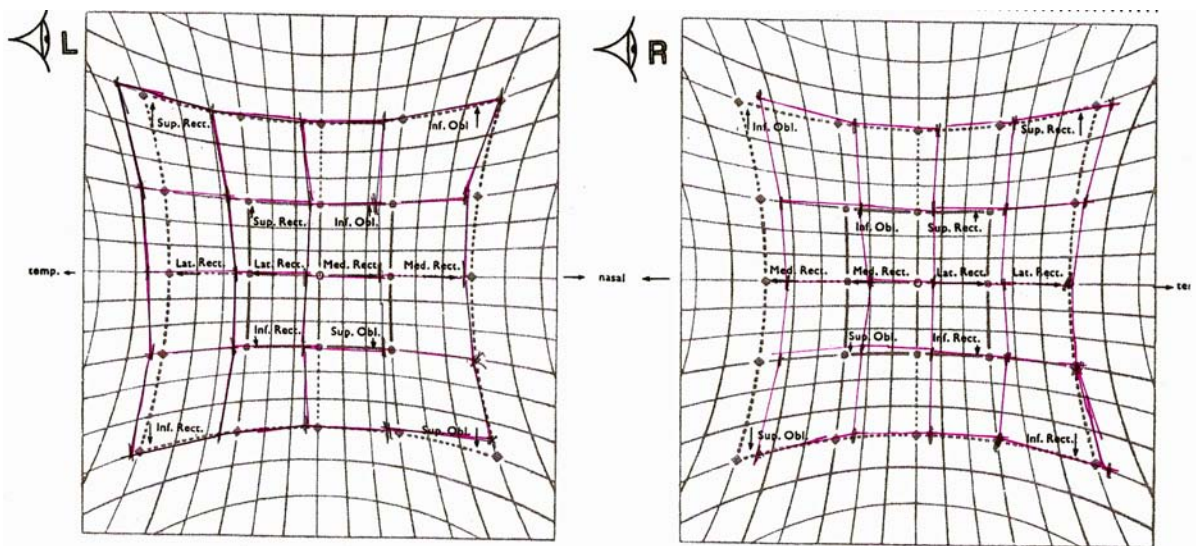
## 4 Ergebnisse

### 4.1.1 Darstellung der Messungen als Hess-Chart

Bei beiden Messmethoden können die Messergebnisse anschaulich in Form eines Hess-Charts dargestellt werden. In Abb. 27 ist das zu Tabelle 1 zugehörige Hess-Chart abgebildet. In den Hess-Charts sind die Zugrichtungen der sechs äußeren Augenmuskeln eingezeichnet, siehe Kapitel 3.1. Das Hess-Chart (s. Abb. 27) eines Probanden ohne Augenmuskellähmung zeigt eine leichte Verschiebung der Quadrate nach außen. Abb. 28 zeigt das Hess-Chart des traditionellen Hess-Schirms, erstellt bei der Messung am selben Probanden wie in Abb. 27. Die eingezeichneten Vierecke (blaues und rotes Feld) beider Hess-Charts sind leicht nach außen verschoben. Dies ist am Hess-Chart des PC HS (s. Abb. 27) etwas deutlicher zu sehen. Bei beiden Hess-Charts lässt sich wie bei vielen Probanden eine leichte Exophorie erkennen.



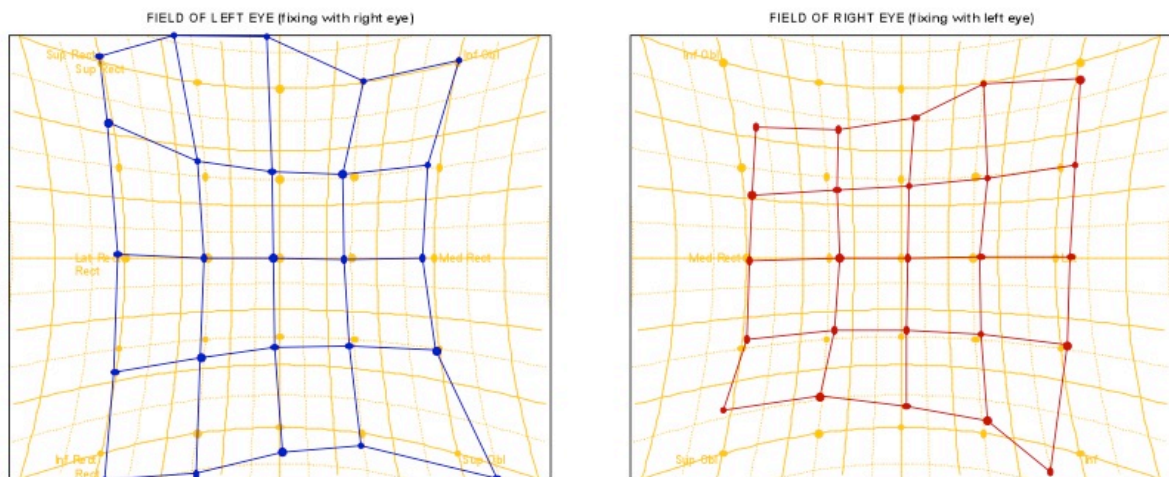
**Abb. 27: Hess-Chart des PC HS**



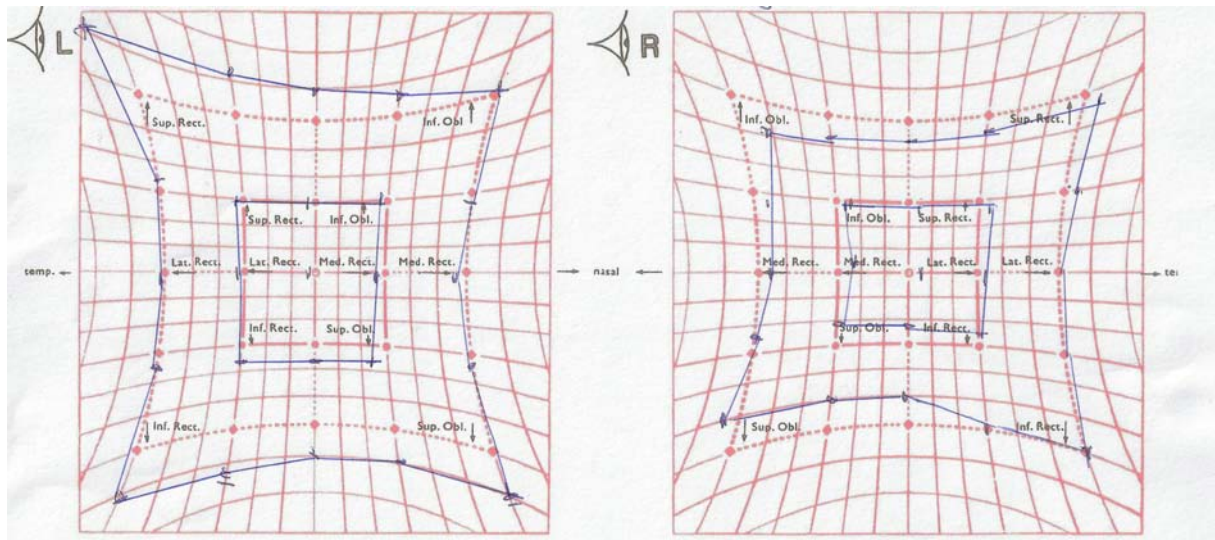
**Abb. 28: Hess-Chart des traditionellen Hess-Schirms**

In den folgenden beiden Abbildungen (Abb. 29, Abb. 30) handelt es sich um die Messergebnisse eines Probanden, der Probleme mit Doppelbildern im Auf- und Abblick hat. Beide Abbildungen zeigen eine Einschränkung im rechten Feld (rechtes Auge).

### The Eye Clinic



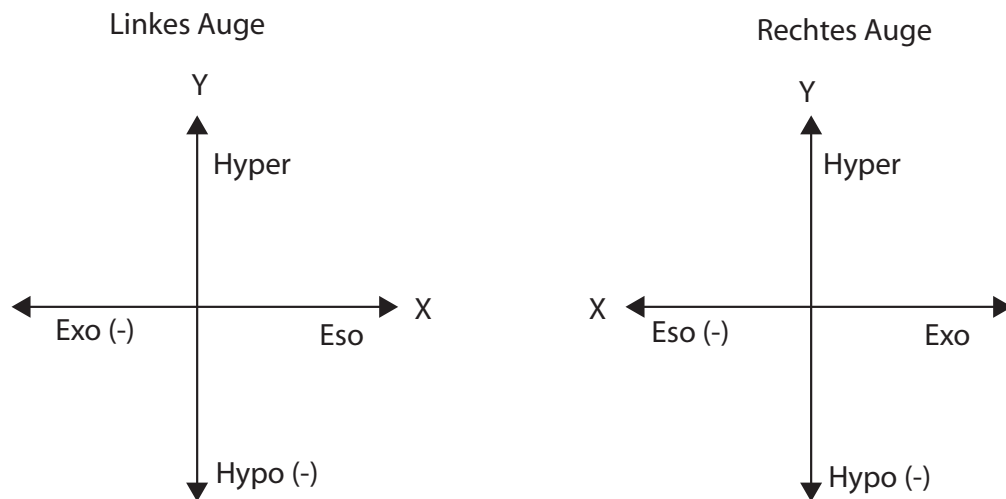
**Abb. 29: Hess-Chart des PC Hess Screen von Proband mit binokularer Störung**



**Abb. 30: Hess-Chart des traditionellen Hess-Schirms von Proband mit binokularer Störung**

#### 4.1.2 Darstellung der Messungen in Tabellenform

Alle Ergebnisse der Messungen werden für die Auswertung in Tabellenform gebracht. Die Messergebnisse des PC Hess Screen werden in Excel importiert. Man erhält zwei Spalten: eine Spalte mit den Orten in Grad angegeben, an denen der Stimulus auf dem Bildschirm erscheint und eine mit den Orten, die vom Probanden angegeben wurden. In der Spalte "Target X" kann abgelesen werden, wo sich der Stimulus in der horizontalen Ebene befindet, und "Target Y" steht für die vertikale Ebene (s. Tabelle 2). Wie beim konventionellen Hess-Schirm befinden sich die Punkte für das zu fixierende Sehobjekt immer in 15°-Schritten zueinander. Die Stimuli (Targets) werden in einem Durchlauf für beide Augen von recht nach links und von oben nach unten angezeigt. Diese Reihenfolge gibt auch die Tabelle wieder. Die „Targets“ können in 25 verschiedenen Positionen angezeigt werden (s. Tabelle 2). Die Werte sind außerdem noch in Messergebnisse für das linke und für das rechte Auge eingeteilt. Das Minuszeichen vor den Zahlen in den Spalten für die horizontale Ebene (X) steht am linken Auge für die Richtung "Exo" und am rechten Auge für die Richtung "Eso". In der vertikalen Ebene (Y) bedeutet das Minuszeichen eine Verschiebung nach unten (hypo) (s. Abb. 31).



**Abb. 31: Richtung der Abweichung**

Berechnet man die Differenz des Punktes an dem der Stimuli erschienen ist (Target) und des Punktes der vom Probanden durch klicken der Maustaste angezeigt wurde (Measured), ergibt sich die Abweichung des Probanden für diesen Punkt in der vertikalen oder in der horizontalen Ebene, siehe Tabelle 2: Beispiel für die Messergebnisse eines Probanden. Die Abweichungen am konventionellen Hess-Schirm werden nicht berechnet, sondern direkt abgelesen und per Hand in einer Tabelle eingetragen. Wenn alle Messergebnisse beider Messmethoden in derselben Form vorliegen, können diese in Excel verglichen und ausgewertet werden.

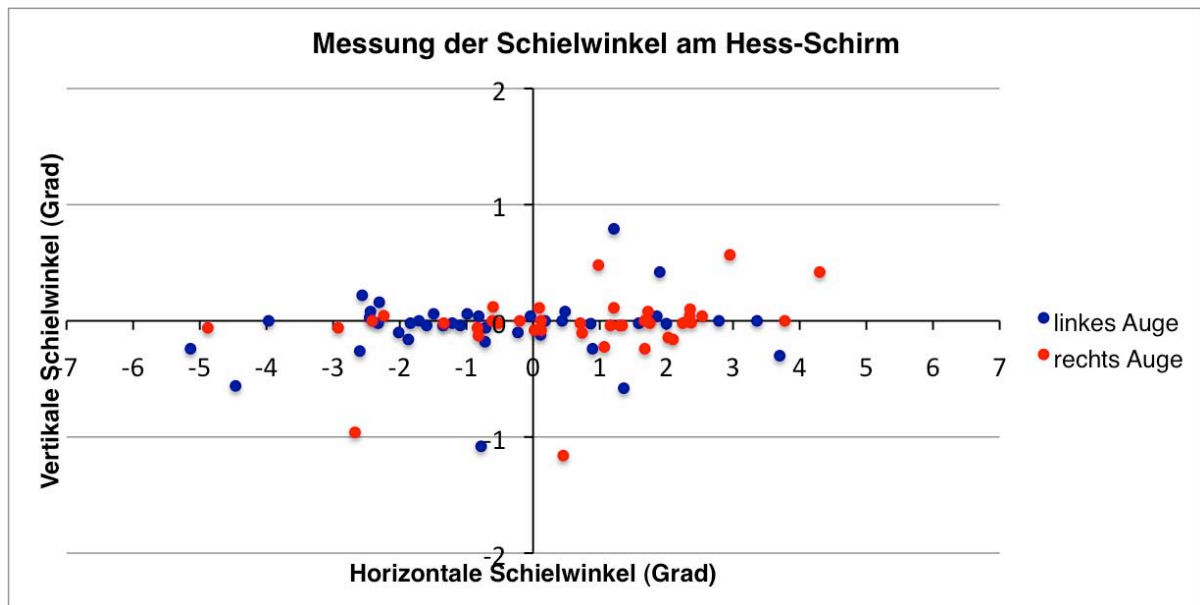
Mr O. B. #1986#		#2012-07-12# 4			
Target X	Target Y	Measured X	Measured Y	Abweichung X	Abweichung Y
Left Eye					
-29	29	-34,54	26,93	-5,54	-2,07
-15	30	-21,94	28,39	-6,94	-1,61
0	30	-7,49	29,72	-7,49	-0,28
15	30	8,81	30,85	-6,19	0,85
29	29	24,62	30,47	-4,38	1,47
-30	15	-34,41	13,86	-4,41	-1,14
-15	15	-21,67	14,31	-6,67	-0,69
0	15	-7,8	14,97	-7,8	-0,03
15	15	8,53	15,56	-6,47	0,56
30	15	25,34	15,86	-4,66	0,86
-30	0	-34,07	-0,19	-4,07	-0,19
-15	0	-21,33	-0,21	-6,33	-0,21
0	0	-6,97	0,22	-6,97	0,22
15	0	8,85	0,33	-6,15	0,33
30	0	25,32	0,51	-4,68	0,51
-30	-15	-33,62	-14,25	-3,62	0,75
-15	-15	-20,51	-14,62	-5,51	0,38
0	-15	-6,42	-14,7	-6,42	0,3
15	-15	8,98	-14,82	-6,02	0,18
30	-15	25,29	-14,95	-4,71	0,05
-29	-29	-33,14	-27,84	-4,14	1,16
-15	-30	-20,41	-28,79	-5,41	1,21
0	-30	-5,46	-29,86	-5,46	0,14
15	-30	10,37	-30,21	-4,63	-0,21
29	-29	26,22	-29,28	-2,78	-0,28
Right Eye					
-29	29	-22,76	30,53	6,24	1,53
-15	30	-6,97	30,35	8,03	0,35
0	30	7,32	29,4	7,32	-0,6
15	30	20,64	28,06	5,64	-1,94
29	29	33,37	27,33	4,37	-1,67
-30	15	-24,16	15,55	5,84	0,55
-15	15	-7,05	14,99	7,95	-0,01
0	15	7,93	14,44	7,93	-0,56
15	15	21,79	14,01	6,79	-0,99
30	15	34,38	13,62	4,38	-1,38
-30	0	-24,86	0	5,14	0
-15	0	-7,97	-0,22	7,03	-0,22
0	0	8,08	-0,45	8,08	-0,45
15	0	20,44	-0,42	5,44	-0,42
30	0	34,07	-0,37	4,07	-0,37
-30	-15	-24,58	-15,69	5,42	-0,69
-15	-15	-8,1	-15,58	6,9	-0,58
0	-15	7,79	-15,28	7,79	-0,28
15	-15	21,5	-15,01	6,5	-0,01
30	-15	33,9	-14,7	3,9	0,3
-29	-29	-24,72	-30,1	4,28	-1,1
-15	-30	-8,17	-30,74	6,83	-0,74
0	-30	6,52	-29,88	6,52	0,12
15	-30	19,99	-29,26	4,99	0,74
29	-29	31,98	-28,29	2,98	0,71

**Tabelle 2: Beispiel für die Messergebnisse eines Probanden**



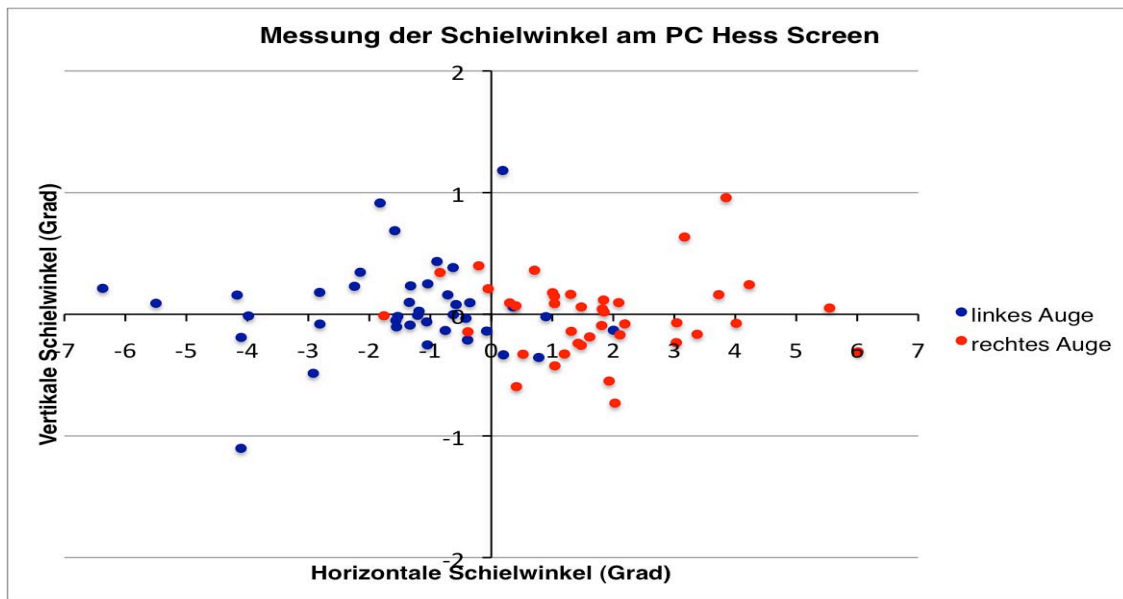
#### 4.1.3 Beschreibung der Messergebnisse

In Diagramm 1 sind die am Hess-Schirm gemessenen Schielwinkel aller 40 Probanden aufgetragen. Ein Punkt stellt also den Mittelwert aller 25 gemessenen Punkte dar, jeweils für ein Auge. Die roten Punkte sind wie in der Legende zu sehen die Schielwinkel, gemessen am rechten Auge. Die blauen Punkte dagegen stehen für die Schielwinkel, gemessen am linken Auge. Die horizontalen Schielwinkel werden auf der x-Achse abgelesen und die vertikalen Schielwinkel auf der y-Achse. Die Punkte auf der x-Achse sind zwischen -5 und 5 Grad gestreut, auf der y-Achse dagegen nur zwischen ca. -1 und 1 Grad. Die blauen und roten Punkte sind relativ gemischt auf der negativen und positiven Seite der x-Achse verteilt. Es lässt sich eine leichte Konzentration der blauen Punkte auf der linken Seite und der roten Punkte auf der rechten Seite der x-Achse erkennen.



**Diagramm 1: Messergebnisse: Schielwinkel gemessen am Hess-Schirm**

In Diagramm 2 sind die Schielwinkel gemessen am PC Hess Screen aufgetragen. Auf der x-Achse sind die Messwerte zwischen ungefähr -6 und 6 Grad gestreut. Auf der y-Achse befinden sich die Werte wie am Hess-Schirm zwischen -1 und 1 Grad. Im Gegensatz zu dem Messergebnissen des Hess-Schirms konzentrieren sich die Werte des rechten Auges in Diagramm 2 fast ausschließlich auf die rechte positive Seite der x-Achse. Die blauen Werte konzentrieren sich hingegen auf die linke negative Seite. Am PC Hess Screen werden also fast nur Exophorien gemessen und auch größere Exophorien als am Hess-Schirm. Zur Streuung der Werte auf der y-Achse ist im Vergleich zum Hess-Schirm zu sagen, dass am PC HS eine größere Anzahl kleiner (unter 1 Grad) vertikaler Schielwinkel gemessen wird.



**Diagramm 2: Messergebnisse: Messung der Schielwinkel am PC Hess Screen**

Der t-Test für gepaarte Stichproben über die Schielwinkel, gemessen am PC Hess Screen und am Hess-Schirm ergibt folgende Werte (s. Tabelle 3):

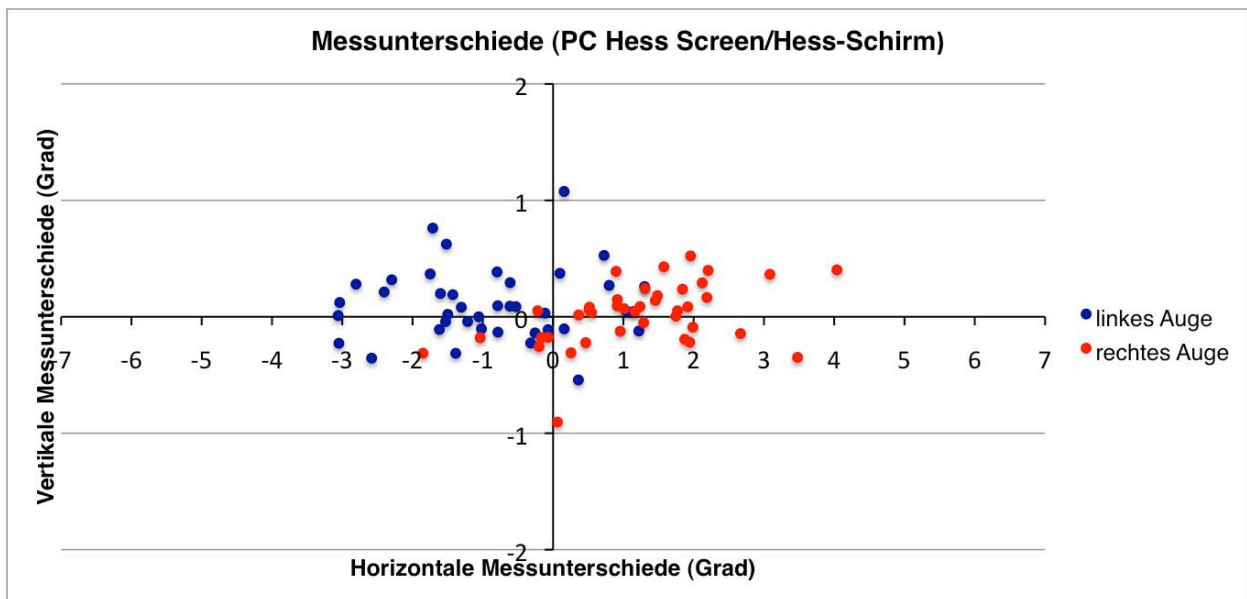
<b>t-Test, zweiseitig, gepaart</b>				
t-Test über die Schielwinkel links horizontal	t-Test über die Schielwinkel links vertikal	t-Test über die Schielwinkel rechts horizontal	t-Test über die Schielwinkel rechts vertikal	
0,0000	0,0000	0,0000	0,4000	<b>p-Werte</b>

**Tabelle 3: t-Test über die Schielwinkel (PCHS/Hess-Schirm)**

Die horizontalen Messwerte und die vertikalen Messwerte des linken Auges unterscheiden sich hochsignifikant ( $p < 0,001$ ). Der vertikale Messwert des rechten Auge unterscheidet sich nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Um das Ausmaß der Messunterschiede zu erfassen, werden die Differenzen zwischen den einzelnen Messpunkten am PC HS und am Hess-Schirm berechnet. Der Mittelwert dieser für jeweils ein Auge berechneten 25 Differenzen stellt wieder ein Punkt in Diagramm 3 dar. Es sind in Diagramm 3 wieder für jedes Auge 40 Punkte dargestellt. Auf der x-Achse lassen sich die Messunterschiede der horizontalen Schielwinkel ablesen und auf der y-Achse die Differenzen der vertikalen Schielwinkel. Der größte Teil der Differenzen des linken Auges befindet sich zwischen -2 und 0 Grad.

Die berechneten Differenzen für das rechte Auge befinden sich dagegen hauptsächlich zwischen 2 und 0 Grad. Die Unterschiede zwischen den vertikalen Schielwinkeln liegen zwischen -1 und 1 Grad.



**Diagramm 3: Messunterschiede der Messungen PC Hess Screen und Hess-Schirm**

Der Mittelwert des linken Auges liegt wie zu erwarten im negativen und der des rechten Auges im positiven Bereich (s. Tabelle 4). Beide Augen weichen bei der Messung am PC Hess Screen im Vergleich zur Messung am Hess-Schirm um ungefähr ein Grad nach außen ab. Die vertikalen Abweichungen sind sehr gering. Der Mittelwert der vertikalen Differenzen fällt sehr klein aus. Es gibt in der vertikalen Richtung keine nennenswerten systematischen Abweichungen nach oben und unten.

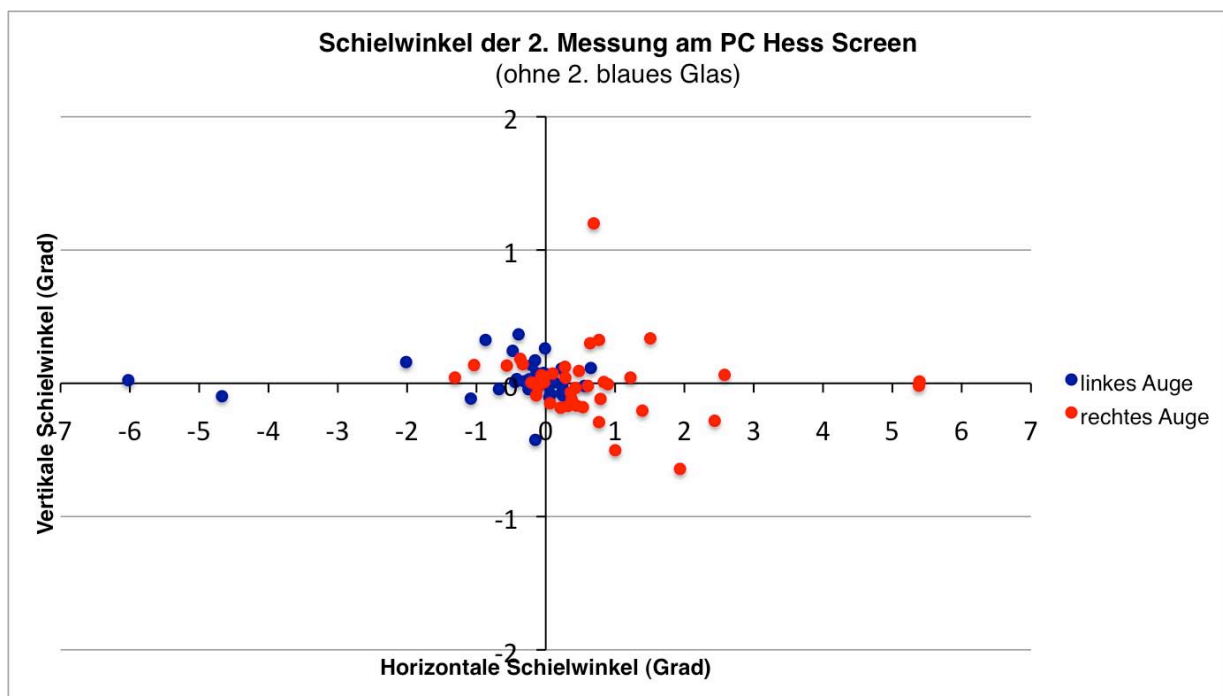
Mittelwerte in Grad		
	horizontale Differenzen	vertikale Differenzen
linkes Auge	-0,894	0,105
rechtes Auge	1,205	0,023

**Tabelle 4: Mittelwerte der Messunterschiede (PC HS/Hess-Schirm)**

Das Diagramm 4 zeigt die Schielwinkel der zweiten Messung am PC HS. Bei dieser Messung wird das zweite blaue Glas, das die Auslöschung verbessern soll, weggelassen. Es sind wieder die gemittelten Schielwinkel der 25 Messpunkte für alle 40 Probanden für jedes Auge aufgetragen. Wenn man diese Werte mit den Werten der ersten Messung am PC HS (s. Diagramm 2) vergleicht, fällt auf, dass die Abweichung viel geringer ist. Es werden bei der zweiten Messung kaum Schielwinkel gemessen.

Die meisten Schielwinkel befinden sich auf der x-Achse im Bereich zwischen -2 und 2 Grad. Die Schielwinkel gemessen in der vertikalen Richtung sind sehr klein ( $< 0,5$  Grad).





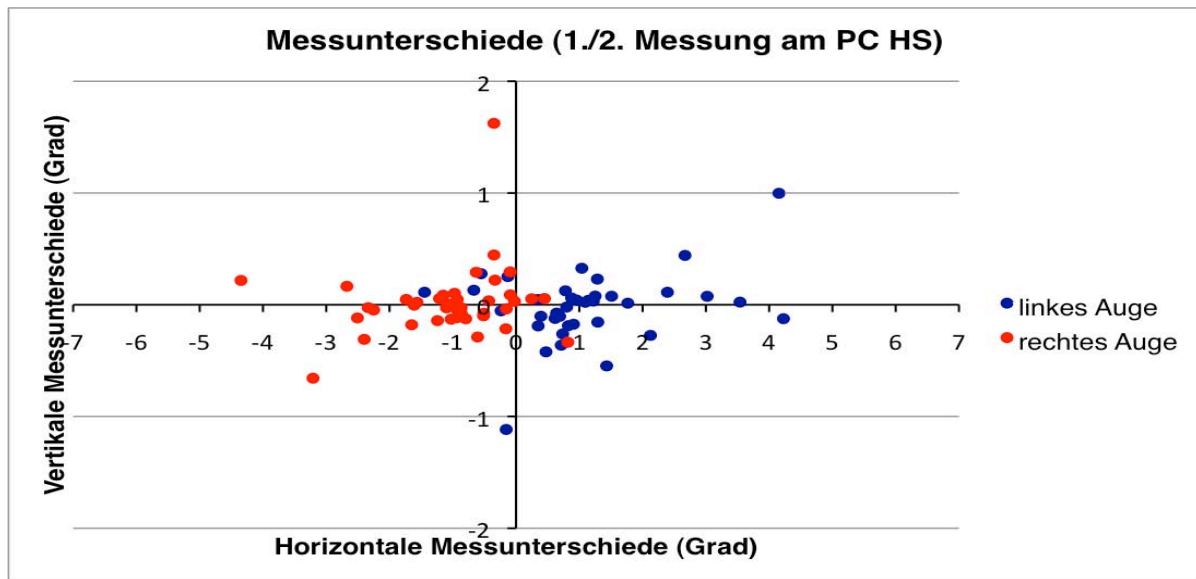
**Diagramm 4: 2. Messung der Schielwinkel am PC Hess Screen ohne 2. blaues Glas**

Das Diagramm 5 zeigt die Messunterschiede zwischen der ersten und der zweiten Messung am PC HS. Es werden hier wieder die Differenzen aller 25 Messpunkte berechnet und gemittelt. Die Differenzen am rechten Auge befinden sich auf der x-Achse im Bereich zwischen -2 und 0 Grad und die des linken Auges zwischen 2 und 0 Grad.

<b>t-Test, zweiseitig, gepaart</b>			
t-Test über die Schielwinkel links horizontal	t-Test über die Schielwinkel links vertikal	t-Test über die Schielwinkel rechts horizontal	t-Test über die Schielwinkel rechts vertikal
0,0000	0,9957	0,0000	0,4042

**Tabelle 5: T-Test über die Schielwinkel (1./2. Messung PC HS)**

Die horizontalen Messwerte des linken und rechten Auges unterscheiden sich hochsignifikant ( $p < 0,001$ ). Die vertikalen Messwerte beider Augen unterscheiden sich dagegen nicht wesentlich ( $p > 0,05$ ) (s. Tabelle 5).



**Diagramm 5: Messunterschiede der 1. und 2. Messung am PC Hess Screen**

Der Mittelwert der Differenzen am linken Auge ist positiv (s. Tabelle 6), da die Messwerte bei der zweiten Messung am PC HS im Gegensatz zu der ersten nach rechts, bzw. viel geringer nach links abweichen. Bei den Mittelwerten des rechten Auges verhält es sich genau umgekehrt, deswegen ist der Mittelwert negativ (s. Tabelle 6). Die Messunterschiede zwischen der ersten und der zweiten Messung am PC Hess Screen ist etwas größer als der Unterschied zwischen der Messung am Hess-Schirm und der ersten Messung am PC Hess Screen.

Mittelwerte in Grad		
	horizontale Differenzen	vertikale Differenzen
linkes Auge	1,084	-0,017
rechtes Auge	-1,053	0,020

**Tabelle 6: Mittelwerte der Messunterschiede (1./2.Messung PC HS)**

## 5 Diskussion

Die durchschnittlich gemessenen Schielwinkel aller Probanden sind nicht sehr groß, das liegt daran, dass 85% der Probanden keine Beschwerden mit dem binokularen Sehen haben. Wie in Kapitel 3.3 erwähnt, sind im Vorfeld nur bei sechs Probanden eine Phorie oder Tropie bekannt. Der Vergleich der Messungen am HS und am PC HS zeigt, dass sich die Werte meist sehr ähnlich sind. In der vertikalen Richtung unterscheiden sich die Werte kaum, der größte Teil der Differenzen liegt unter einem Grad. Für die Differenzen in der horizontalen Richtung könnte die physiologische Nahexophorie eine Begründung liefern. Die am PC Hess Schirm gemessenen Schielwinkel sind im Vergleich zu den Werten am Hess-Schirm divergenter. Die meisten Probanden zeigen am PC Hess Screen eine leichte Exophorie. Der Prüfabstand am PC Hess Screen beträgt 30 cm, am Hess Schirm 50 cm.

Die Messungen finden beide in der Nähe statt. Die Probanden müssen bei beiden Methoden akkommodieren, beim Hess-Schirm 2 dpt und beim PC Hess Screen 3,3 dpt. Akkommodation und Konvergenz sind miteinander gekoppelt. Die motorische Konvergenz fällt jedoch meist zu gering aus um die Konvergenz-Sollstellung zu erreichen. Die berechnete Nahexophorie bei einem AC/A-Quotient von 4 cm und einer Akkommodation von 2 dpt beträgt ca. 5 cm/m (s. 2.2.2). Bei einer Akkommodation von 3 dpt sind es ungefähr 7 cm/m. Die Differenz beider Nahexophorien beträgt also 2 cm/m. Da sich die durchschnittlichen Messunterschiede in der horizontalen Richtung im Bereich 1 Grad (2 cm/m) befinden, scheint die physiologische Nahexophorie eine logische Erklärung für diese Unterschiede zu sein. Die vertikalen Differenzen wiederum sind vorhanden, weil am Hess-Schirm nur Abweichungen bis minimal 1 Grad genau vom Untersucher erkannt und eingetragen werden können. Der PC Hess Schirm hingegen misst auch noch sehr kleine Abweichungen. Die sehr geringen Abweichungen unter einem Grad wurden bei der Messung am Hess-Schirm nicht erfasst. Diese Unterschiede sind also nur aufgrund der höheren Messgenauigkeit des PC Hess Screen vorhanden.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Studien von Thomson (s. 2.6.1) gibt es ein paar Gemeinsamkeiten und einige Unterschiede. Die vertikalen Messunterschiede sind bei dieser Studie genauso wie bei der Studie von Thomson geringer als die horizontalen. Die horizontalen Messwerte zeigen am PC HS im Vergleich zum Hess-Schirm eine divergentere Verteilung. Die Studie von Thomson spricht dagegen von konvergenteren Messergebnissen am AHS (PC Hess Screen) im Vergleich zum EHS (s. 2.6.1). Im Gegensatz zu dieser Arbeit wird bei Thomson ein kleinerer Prüfabstand (25 cm) verwendet und 30 Patienten mit Strabismus

vermessen. Die Patienten von Thomson sind im Durchschnitt 49 Jahre die Probanden bei dieser Arbeit nur 25 Jahre alt (s. 3.3). Was genau dazu führt, dass sich die horizontalen Messergebnisse der Thomson-Studie so deutlich von den Ergebnissen dieser Studie unterscheiden, lässt sich nicht sagen.

Der Messunterschied zwischen der zweiten und der ersten Messung am PC Hess Screen ist interessant. Die zweite Messung am PC Hess Screen findet ohne die zweite blaue Folie zur verbesserten Auslöschung des roten Sehobjektes statt. Ohne diese Folie sehen viele Probanden dieses rote Sehobjekt doppelt. Bei dieser zweiten Messung wurden in der horizontalen Richtung geringere Schielwinkel gemessen als bei der ersten Messung. Dies kann auf die teilweise aufgehobene Trennung der Seheindrücke zurückgeführt werden, aber auch auf einen Lerneffekt. Ist die Fusion nicht mehr unterbrochen, weil beide Augen das rote Sehobjekt erkennen, können Phorien nicht mehr gemessen werden. Bei der ersten Messung am PC Hess Screen wurden hauptsächlich Exophorien gemessen. Bei der zweiten Messung wurden diese kaum erfasst. Diese zweite Messung am PC HS wurde immer am Schluss aller drei Messungen durchgeführt (s. 3.4). Aus diesem Grund kann der Einfluss von Lerneffekten nicht ausgeschlossen werden.

## 6 Fazit/Ausblick

Ziel der vorliegenden Studie war es, herauszufinden ob der PC Hess Screen vergleichbare Messergebnisse zum konventionellen Hess-Schirm liefert. Zu diesem Zweck wurden an 40 Probanden am PC Hess Screen und am Hess-Schirm Messungen durchgeführt. Da sich bei Probedurchläufen herausstellte, dass die Auslöschung der Sehobjekte durch das jeweils komplementäre Glas mangelhaft war, ergab sich noch eine zweite Fragestellung. Wie wirkt sich der Grad der Auslöschung der Sehobjekte auf das Messergebnis aus? Es wurde eine Messreihe am PC HS mit möglichst guter Auslöschung durchgeführt, das bedeutet, das blaue Glas der Rot/Blau-Brille wurde mit einer blauen Folie verstärkt. Eine zweite Messreihe wurde ohne diese blaue Folie durchgeführt.

Was die Vergleichbarkeit von PC HS und Hess-Schirm betrifft, legen die Ergebnisse dieser Arbeit nahe, dass sich zwar die Messergebnisse der horizontalen Richtung hochsignifikant unterscheiden, dies aber auf den geringeren Prüfabstand zurückzuführen ist. Bei der Diagnostik von Lähmungsschielen fallen diese Unterschiede in der Größenordnung von einem Grad vermutlich nicht stark ins Gewicht. Da gesunde Probanden vermessen wurden, kann über eine korrekte Interpretation der Messergebnisse bei Lähmungsschielen keine definitive Aussage getroffen werden. Da hauptsächlich Probanden ohne Probleme mit dem Binokularsehen gemessen wurden, fielen die gemessenen Schielwinkel in der Vertikalen meist zu ge-

ring aus, um am Hess-Schirm erfasst zu werden. Die Vergleichbarkeit ist also mit der Einschränkung, dass man den Einfluss der Prüferentfernung bedenken muss, gegeben.

Zur Fragestellung inwieweit die Qualität der Auslöschung einen Einfluss hat, wäre es wichtig, erst noch eine Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu machen, um so den Einfluss eines reinen Lerneffekts ausschließen zu können. Eine solche Untersuchung auf die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse wurde zwar von Thomson durchgeführt, aber nur beispielhaft an einem Patienten. Pauschal lässt sich sagen, dass eine gute Auslöschung dem Probanden die Untersuchung erleichtert, da er nicht von "Geisterbildern" verwirrt wird. In dem Vorgängerprogramm des PC Hess Screen, das bei der vorliegenden Studie verwendet wurde, gibt es die Möglichkeit, die Farben der Sehzeichen an die jeweils verwendete Brille genau anzupassen. Diese Möglichkeit wäre sicher auch für das aktuelle Programm eine Option, um das Problem mit der schlechten Auslöschung des roten Sehobjekts in den Griff zu bekommen.

Der Hess-Schirm ist im Gegensatz zu den diagnostischen Blickrichtungen in der Lage, das Ausmaß des vorliegenden Schielens nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu erfassen und zu dokumentieren. Die graphische Darstellung der Abweichungen im Hess-Chart lässt sich leicht interpretieren. Die Ursache des vorliegenden Lähmungsschielens lässt sich so auf einen Blick erfassen. Der Vorteil des PC Hess Screen ist die schnelle Messung, die ohne die Hilfe des Untersuchers auskommt, sowie die automatische Dokumentation der Messergebnisse. Für eine Verlaufskontrolle können so schnell die jeweiligen Hess-Charts verglichen werden. Für einen Optometristen, der sich bei Verdacht auf Lähmungsschielen ein genaueres Bild machen möchte, kann der PC Hess Screen eine Option sein. Für eine Arztpraxis, die sich weder Hess-Schirm noch Harmswand anschaffen möchte, kann der PC Hess Screen ebenfalls eine Möglichkeit sein, um schnell die vorliegende Schielform quantitativ zu erfassen und zu dokumentieren.

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In Excel exportierte Werte PC HS .....	33
Tabelle 2: Beispiel für die Messergebnisse eines Probanden.....	40
Tabelle 3: T-Test über die Schielwinkel (PCHS/Hess-Schirm).....	42
Tabelle 4: Mittelwerte der Messunterschiede (PC HS/Hess-Schirm) .....	43
Tabelle 5: T-Test über die Schielwinkel (1./2. Messung PC HS).....	44
Tabelle 6: Mittelwerte der Messunterschiede (1./2.Messung PC HS) .....	45

## 8 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Messergebnisse: Schielwinkel gemessen am Hess-Schirm.....	41
Diagramm 2: Messergebnisse: Messung der Schielwinkel am PC Hess Screen .....	42
Diagramm 3: Messunterschiede der Messungen PC Hess Screen und Hess-Schirm.....	43
Diagramm 4: 2. Messung der Schielwinkel am PC Hess Screen ohne 2. blaues Glas.....	44
Diagramm 5: Messunterschiede der 1. und 2. Messung am PC Hess Screen .....	45

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Augenmuskeln bei verschiedenen Blickrichtungen. Quelle: [DIE-08].....	2
Abb. 2: Diagnostische Blickrichtungen. Quelle: [DIE-08] .....	4
Abb. 3: Normales monokulares Blickfeld. Quelle: [KAU-04] .....	4
Abb. 4: Darstellung der physiologischen Nahexophorie.....	6
Abb. 5: Negative Polarisation. Quelle: [DIE-04] .....	10
Abb. 6: Positive Polarisation. Quelle: [DIE-04].....	11
Abb. 7: Anaglyphenverfahren. Quelle: [DIE-04].....	12
Abb. 8: Berechnung einer Tangententafel.....	13
Abb. 9: Messung am Maddox-Kreuz bei Esophorie. Quelle:[LAN-03] .....	14
Abb. 10: Koordinatensystemen der Harmswand. Quelle: [MÜH-90].....	15
Abb. 11: Koordinatensystem nach Hess. Quelle: [MÜH-90].....	15
Abb. 12: Koordinatensystem nach Helmholtz. Quelle: [MÜH-90] .....	16
Abb. 13: Tangententafel nach Harms. Quelle: [GRE-08], s. 381 .....	17

Abb. 14: Aufzeichnung der Messung eines Auges an ursprünglichem Hess-Schirm. ....	19
Abb. 15: Hess-Chart Lähmung des M. rectus lateralis rechts. Quelle: [DIE-08] S. 182.....	21
Abb. 16: Messaufbau konventioneller Hess-Schirm.....	24
Abb. 17: Rot-Grün-Brille für konventionellen HS .....	25
Abb. 18: Messaufbau PC Hess Schirm .....	26
Abb. 19: Rot-Blau-Brille für PC HS.....	26
Abb. 20: Screen Calibration .....	27
Abb. 21: Auswahlmenü vor Teststart .....	28
Abb. 22: Visus prüfen an der ETDRS-Tafel. ....	29
Abb. 23: Durchführung der Messung am PC Hess Schirm .....	30
Abb. 24: Durchführung der Messung am konventionellen HS.....	31
Abb. 25: Zeichnerische Darstellung des HS.....	32
Abb. 26, Beispiel Hess-Screen-Chart.....	35
Abb. 27: Hess-Chart des PC HS .....	36
Abb. 28: Hess-Chart des traditionellen Hess-Schirms .....	37
Abb. 29: Hess-Chart des PC Hess Screen von Proband mit binokularer Störung .....	37
Abb. 30: Hess-Chart des traditionellen Hess-Schirms von Proband mit binokularer Störung	38
Abb. 31: Richtung der Abweichung .....	39

## 10 Literaturverzeichnis

[DIE-08] Dietze, Holger: Die optometrische Untersuchung, Thieme Verlag, Stuttgart, 2008

[KAU-04] Kaufmann, Herbert: Strabismus, 3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2004

[LAC-08] Lachmayer, Bernhard: Begutachtungen in der Augenheilkunde, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2008

[LAC-06] Lachmayer, Bernhard: Auge-Brille-Refraktion, 4. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2006

[STR-95] Straub, Wolfgang: Augenärztliche Untersuchungsmethoden, 3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1995

[DIE-04] Diepes, Heinz: Refraktionsbestimmung, 3. Auflage, DOZ-Verlag, Heidelberg, 2004

[THO-90] Thomson, W.D & Desai. N.: A new system for the measurement of ocular motility using a personal computer, *Ophtal. Physiol. Opt.*, 1990

[GRE-08] Grehn, Franz: *Augenheilkunde*, 30. Auflage, Springer-Verlag, 2008

[HES-08] Hess, Walter: *Eine neue Untersuchungsmethode bei Doppelbildern*, Köln 1908

[ROO-07] Roodhooft, J.M.: Screen tests used to map out ocular deviations, *Bull Soc Belge Ophthalmol.* 2007; (305): 57-67. ([www.ophtalmologia.be/download](http://www.ophtalmologia.be/download), 30.10.12), S. 59 ff

[WAT-11] Patrick Watts: Validity and ease of use of a computerized Hess chart, Department of Ophthalmology, University Hospital of Wales, Cardiff, UK  
*J AAPOS* 15:451-4. 2011

[MÜH-90] Mühlendyck H., Rüssmann W.: *Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung (Bücherei des Augenarztes Band 121)*, Enke, Stuttgart 1990

[LAN-03] Lang, J.: *Strabismus*, 5. Auflage, Verlag Hans Huber, Bern 2003

[REU-04] Reuter, Peter: *Springer Lexikon Medizin*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004